



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEKTIVITAS PRE-TREATMENT KOAGULASI-
FLOKULASI PADA IPAL RUMAH SAKIT
METODE ACTIVATED SLUDGE
STUDI KASUS : PRE-TREATMENT LIMBAH CAIR MEDIS
RSUPN DR. CIPTO MANGUNKUSUMO**

SKRIPSI

RAMAH PITA MANULLANG

0806338840

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFEKTIVITAS PRE-TREATMENT KOAGULASI-
FLOKULASI PADA IPAL RUMAH SAKIT
METODE ACTIVATED SLUDGE
STUDI KASUS : PRE-TREATMENT LIMBAH CAIR MEDIS
RSUPN DR. CIPTO MANGUNKUSUMO**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana
Teknik**

RAMAH PITA MANULLANG

0806338840

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFFECTIVENESS OF COAGULATION-FLOCCULATION
PRE-TREATMENT OF HOSPITAL WWTP
ACTIVATED SLUDGE METHOD
STUDY CASE : PRE-TREATMENT MEDICAL
WASTEWATER RSUP DR. CIPTO MANGUNKUSUMO**

FINAL REPORT

Proposed as one of the requirement to obtain a Bachelor's degree

RAMAH PITA MANULLANG

0806338840

**FACULTY OF ENGINEERING
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JUNE 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Ramah Pita Manullang

NPM : 0806338840

Tanda Tangan : 

Tanggal : 13 Juni 2012

STATEMENT OF AUTHENTICITY

**I declare that this final report of one of my own research,
and all of the references either quoted or cited here
have been mentioned properly.**

Name : Ramah Pita Manullang

Student ID : 0806338840

Signature : 

Date : 13 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ramah Pita Manullang
NPM : 0806338840
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi : Efektivitas Pre-treatment Koagulasi
-Flokulasi Pada IPAL Rumah Sakit
Metode Activated Sludge Studi Kasus :
Pre-treatment Limbah Cair Medis
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Setyo S. Moersidik, DEA (.....)
Pembimbing 2 : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr (.....)
Penguji 1 : Ir. El Khobar M Nazech, M. Eng (.....)
Penguji 2 : Dr. Ir. Cindy Priadi, M. Sc (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 13 Juni 2012

STATEMENT OF LEGITIMATION

The final report submitted by :

Name : Ramah Pita Manullang
Student ID : 0806338840
Study Program : Environmental Engineering
Thesis Title : Effectiveness of Coagulation-Flocculation
Pre-Treatment of Hospital WWTP
Activated Sludge Method
Study Case : Pre-Treatment Medical Wastewater
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo

Has been successfully defended before the Council Examiners and was accepted as part of requirements necessary to obtain a Bachelor of Engineering degree in Environmental Engineering Program, Faculty of Engineering, Univeritas Indonesia.

BOARD OF EXAMINERS

Advisor 1 : Dr. Ir. Setyo S. Moersidik, DEA (.....)
Advisor 2 : Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr (.....)
Examiner 1 : Ir. El Khobar M Nazech, M. Eng (.....)
Examiner 2 : Dr. Ir. Cindy Priadi, M. Se (.....)

Defined in : Depok

Date : June 13, 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan, atas kasih sayang dan penyertaannya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Setyo S. Moersidik, DEA dan Bapak Dr. Nyoman Suwartha, S.T., M.T., M.Agr selaku dosen pembimbing I dan II, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi bimbingan, dan persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai;
2. Pihak RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo yang telah membantu dalam usaha untuk memperoleh data yang penulis perlukan;
3. Mba Licka Kamadewi dan Mba Sri Diah, selaku laboran Program Studi Teknik Lingkungan, telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi masukan, arahan, dan diskusi;
4. Papah, mamah, abang, kakak, serta ponakan tersayang yang selalu mendukung dalam doa, moral, dan materi ☺
5. Sahabat terkasih, Philip, Ari, Apreh, Adi, dan seluruh pengurus naposo yang selalu memberikan dukungan doa dan semangat;
6. Sobat dalam suka dan duka Ratna, Maria, Aini, Rury, Faza, Evrin dan sobat RSCM Merlin, juga semua sipilingkungan2008, yang selalu memberikan semangat dan dukungan;
7. Para dosen pengajar Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia;
8. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi.

Kiranya Tuhan memberkati semua pihak yang telah membantu penulis. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi ilmu pengetahuan.

Depok, 13 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ramah Pita Manullang
NPM : 0806338840
Program Studi : Teknik Lingkungan
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**EFEKTIVITAS PRE-TREATMENT KOAGULASI-FLOKULASI PADA IPAL RUMAH SAKIT METODE ACTIVATED SLUDGE
STUDI KASUS : PRE-TREATMENT LIMBAH CAIR MEDIS RSUPN DR. CIPTO MANGUNKUSUMO**

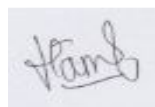
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dari sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 13 Juni 2012

Yang menyatakan



(Ramah Pita Manullang)

**STATEMENT OF AGREEMENT
OF FINAL REPORT PUBLICATION FOR ACADEMIC PURPOSES**

As an civitas academica of Universitas Indonesia, I, the undersigned :

Name : Ramah Pita Manullang
Student ID : 0806338840
Study Program : Environmental Engineering
Departement : Civil Engineering
Faculty : Engineering
Type of Work : Final Report

for sake of science development, hereby agree to provide Universitas Indonesia **Non-exclusive Royalty Free Right** for my scientific work entitled :

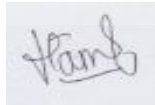
**EFFECTIVENESS OF COAGULATION-FLOCCULATION PRE-TREATMENT OF HOSPITAL WWTP ACTIVATED SLUDGE METHOD
STUDY CASE : PRE-TREATMENT MEDICAL WASTEWATER RSUPN
DR. CIPTO MANGUNKUSUMO**

together with the entire documents (if necessary). With the Non-exclusive Royalty Free Right, Universitas Indonesia has right to store, manage in the form of database, keep and publish final report as long as list my name as the author and copyright owner.

I certify that the above statement is true.

Signed at : Depok
Date this : June 13, 2012

The Declarer



(Ramah Pita Manullang)

ABSTRAK

Nama : Ramah Pita Manullang
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Efektivitas Pre-Treatment Koagulasi-Flokulasi Pada IPAL
Rumah Sakit Metode Activated Sludge
Studi Kasus : Pre-Treatment Limbah Cair Medis
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo

Limbah cair medis rumah sakit bersifat toksik karena mengandung bahan yang berasal dari farmasi, laboratorium, dan lainnya yang dapat berdampak negatif bagi makhluk hidup. Limbah cair medis RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo memiliki nilai rasio BOD/COD $<0,01$. Dibutuhkan pengolahan khusus untuk mengolah limbah cair medis, agar limbah cair medis tidak mengganggu kinerja IPAL dan mencapai rasio BOD/COD sebesar 0,6 dengan pengolahan biologis. Salah satu pre-treatment yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair medis adalah koagulasi-flokulasi dengan koagulan FeCl_3 . Tes koagulasi-flokulasi dilakukan menggunakan perangkat jar-test dalam skala laboratorium.

Hasil dari percobaan dengan range koagulan 25–350 ppm, menunjukkan dosis optimal sebesar 150 ppm dengan pH akhir sebesar 4,81 dan dapat mengurangi COD hingga 66,03%, namun menaikkan BOD sebesar -150,12%. Rasio BOD/COD yang dihasilkan dari percobaan koagulasi-flokulasi sebesar 0,0168, masih jauh dari rasio BOD/COD yang diharapkan yaitu 0,6. Pre-treatment koagulasi – flokulasi kurang efektif digunakan untuk mengolah limbah cair medis RSCM, namun hal tersebut kembali lagi bergantung pada karakteristik limbah cair medis yang dihasilkan rumah sakit. Untuk meningkatkan efektivitas kinerja koagulasi-flokulasi dibutuhkan pengolahan tambahan, seperti membran ultrafiltrasi.

Kata kunci : limbah cair medis, rasio BOD/COD, *pre-treatment* koagulasi flokulasi.

ABSTRACT

Name : Ramah Pita Manullang
Study Program : Environmental Engineering
Title : Effectiveness of Coagulation-Flocculation Pre-Treatment
of Hospital WWTP Activated Sludge Method
Study Case : Pre-Treatment Medical Wastewater
RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo

Hospital medical wastewater is toxic because it contains substances that are derived from pharmacy, laboratory, and others which may have negative impacts for living things. RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo medical wastewater has ratio value of BOD/COD of $<0,01$. It needs a special treatment for medical wastewater, so it will not interfere the performance of WWTP with biological treatment and achieve the ratio of BOD/COD of 0.6. Pre-treatment that can be used for medical wastewater is coagulation-flocculation with FeCl_3 coagulant. Jar test is used to test coagulation-flocculation in laboratorium scale.

The experiment with range coagulant dose 25-350 ppm, showed that the optimal dose of coagulant is 150 ppm with a final pH 4.81 and can reduce COD up to 66,03%, but increase the BOD of -150,12%. The result of the ratio of BOD/COD from the coagulation-flocculation experiments is 0.0168, still far from the ratio of BOD/COD expected which is 0.6. Pre-treatment of coagulation - flocculation is a less effective for RSCM medical wastewater treatment, but it depends on the characteristics of medical wastewater that generated from hospital. To improve the effectiveness of coagulation-flocculation performance, it requires additional processing such as ultrafiltration membranes.

Key words : medical wastewater, the ratio of BOD/COD, pre-treatment
coagulation-flocculation

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	ix
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR PERSAMAAN.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4 BATASAN MASALAH.....	4
1.5 MANFAAT PENELITIAN.....	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 LIMBAH RUMAH SAKIT	7
2.1.1 Kategori Limbah Rumah Sakit	7
2.1.1.1 Limbah Non-medis	7
2.1.1.2 Limbah Medis	7
2.1.2 Sumber Limbah Medis Rumah Sakit.....	8
2.1.3 Dampak Limbah Medis Rumah Sakit.....	9
2.2 KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT.....	12
2.2.1 Karakteristik Kimia.....	12

2.2.2 Karakteristik Fisika	15
2.2.3 Karakteristik Biologi	16
2.3 PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT	16
2.3.1 Membran Ultrafiltrasi (UF)	17
2.3.2 Activated Sludge (AS)	19
2.3.3 Rotating Biological Contactor (RBC)	22
2.4 KOAGULASI-FLOKULASI	24
2.4.1 Koagulasi	25
2.4.2 Flokulasi	27
2.4.3 Koagulan	27
2.4.4 <i>Jar Test</i>	30
2.4.5 Perhitungan Unit Koagulasi-Flokulasi	31
2.5 PERATURAN PERUNDANGAN PENGELOLAAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT	34
2.5.1 Permenkes 1204/MENKES/SK/2004, mengatur tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit	34
2.5.2 Kepmen LH No. 58 Tahun 1995, mengatur tentang Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Rumah Sakit	35
2.5.3 PP No. 18 Tahun 1999 dan PP No. 85 Tahun 1999, mengatur tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)	36
2.5.4 Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005 tentang Limbah Cair Domestik	37
2.6 GAMBARAN UMUR RSUPN DR. CIPTO MANGUNKUSUMO	37
2.6.1 Fasilitas dan Pelayanan RSCM	37
2.6.2..Eksisting Pengolahan Biologis <i>Activated Sludge</i> IPAL 1 RSUPN Cipto Mangunkusumo	39
2.6.3 Fluktuasi Hasil Uji Limbah Cair RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo .	41
2.7 HIPOTESIS PENELITIAN	43
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	44
3.1 KERANGKA PENELITIAN	44
3.2 WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN	46
3.3 BAHAN DAN ALAT	48

3.3.1 Bahan	48
3.3.2 Alat.....	48
3.4 RANCANGAN PENELITIAN	48
3.4.1 Data Penelitian	48
3.4.2 Pengambilan Sampel.....	49
3.4.3 Variabel Penelitian	49
3.4.4 Percobaan Penelitian	49
3.4.5 Metode Analisis Data.....	50
3.4.6 Perhitungan Unit Koagulasi–Flokulasi	51
BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA	53
4.1 DEBIT LIMBAH CAIR MEDIS	53
4.2 <i>PRE-TREATMENT</i> LIMBAH CAIR EKSISTING RSCM	57
4.3 KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR MEDIS	59
4.3.1 Karakteristik Fisik Limbah Cair.....	59
4.3.1.1 Temperatur	59
4.3.1.2 Warna	60
4.3.1.3 Bau	62
4.3.2 Karakteristik Kimia Limbah Cair Medis.....	62
4.3.2.1 pH.....	62
4.3.2.2 <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	64
4.3.2.3 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	65
4.3.2.4 Rasio BOD/COD.....	66
4.4 <i>PRE-TREATMENT</i> KOAGULASI–FLOKULASI	67
4.4.1 Efektivitas <i>Pre-treatment</i> Koagulasi–Flokulasi.....	67
4.4.1.1 Temperatur	69
4.4.1.2 Warna	70
4.4.1.3 pH.....	72
4.4.1.4 <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD) dan <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	72
4.4.2 Rasio BOD/COD.....	75
4.5 DESAIN UNIT <i>PRE-TREATMENT</i> LIMBAH CAIR MEDIS.....	76
4.5.1 Variasi Percobaan.....	76

4.5.2 Desain Unit	77
4.5.3 Nilai Ekonomis	81
BAB 5 PENUTUP	84
5.1 KESIMPULAN	84
5.2 SARAN	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	91



DAFTAR TABEL

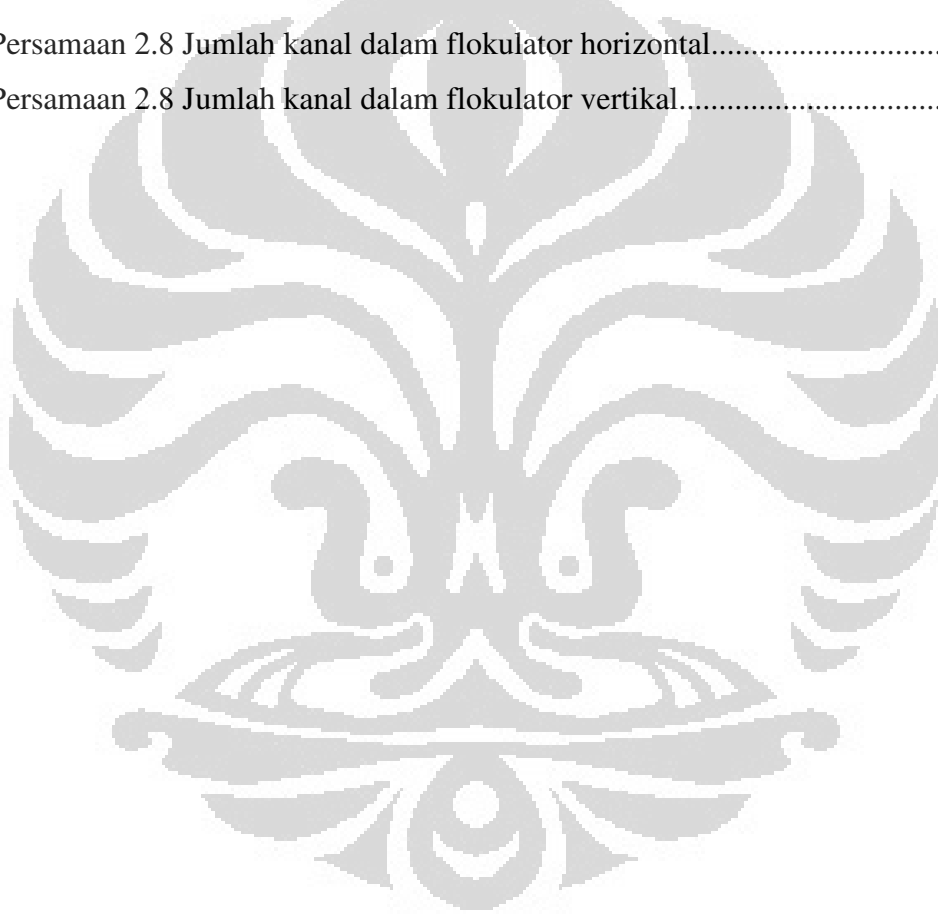
Tabel 2.1. Bahan Kimia dan Dampak Bagi Manusia.....	11
Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit.....	12
Tabel 2.3 Perbandingan RBC dan AS.....	24
Tabel 2.4 Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Rumah Sakit.....	36
Tabel 2.5 Baku Mutu Limbah Cair Domestik Jakarta	37
Tabel 2.6 Debit IPAL 1 Periode Januari–September 2011	40
Tabel 2.7 Target Desain Effluen IPAL 1	41
Tabel 2.8 Parameter Uji Limbah Cair RSCM Periode Juni–September Tahun 2011 Pada IPAL 1	42
Tabel 3.1 Tabel Waktu Pelaksanaan Penelitian	47
Tabel 3.2 Tabel Data Penelitian	49
Tabel 3.3 Metode Pengecekan Hasil Uji.....	50
Tabel 4.1 Desain Kualitas <i>Pre-treatment</i> RSCM.....	58
Tabel 4.2 Temperatur Limbah Cair Medis RSCM.....	59
Tabel 4.3 pH Limbah Cair Medis RSCM	63
Tabel 4.4 BOD Limbah Cair RSCM.....	64
Tabel 4.5 COD Limbah cair Medis RSCM.....	65
Tabel 4.6 Percobaan Koagulasi–Flokulasi 2 Maret 2012	68
Tabel 4.7 Percobaan Koagulasi–Flokulasi 14 Maret 2012	69
Tabel 4.8 Percobaan Koagulasi–Flokulasi 11 April 2012	69
Tabel 4.9 Rasio BOD/COD terhadap Dosis Koagulan	76
Tabel 4.10 Desain Removal Pengolahan Limbah Cair Medis	78
Tabel 4.11 Daftar Harga Bahan/Alat <i>Pre-treatment</i>	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	46
Gambar 3.3 Diagram Alir Desain Unit Koagulasi	52
Gambar 3.4 Diagram Alir Desain Unit Flokulasi	52
Gambar 4.1 Formulir Limbah Cair Medis RSCM	54
Gambar 4.2 Debit Pengeluaran Limbah Cair Medis RSCM.....	56
Gambar 4.3 Skema Rencana Aliran Limbah Cair Gedung CMU 2.....	57
Gambar 4.4 <i>Pre-treatment</i> Limbah Cair RSCM Eksisting	58
Gambar 4.5 Limbah Cair Medis Hari Pertama dan Hari Kedua	61
Gambar 4.6 Percobaan Koagulasi–Flokulasi	68
Gambar 4.7 Sampel dengan Dosis Koagulan 75 ppm.....	71
Gambar 4.8 Sampel dengan Dosis Koagulan 200 ppm.....	71
Gambar 4.9 Sampel dengan Dosis Koagulan 350 ppm.....	71
Gambar 4.10 Grafik pH dan Removal BOD & COD terhadap Dosis Koagulan..	73
Gambar 4.11 Desain Pengolahan Limbah Cair Medis RSCM.....	78
Gambar 4.12 Steel Drum.....	79
Gambar 4.13 Drum Mixer.....	80
Gambar 4.14 Membran Ultrafiltrasi.....	81

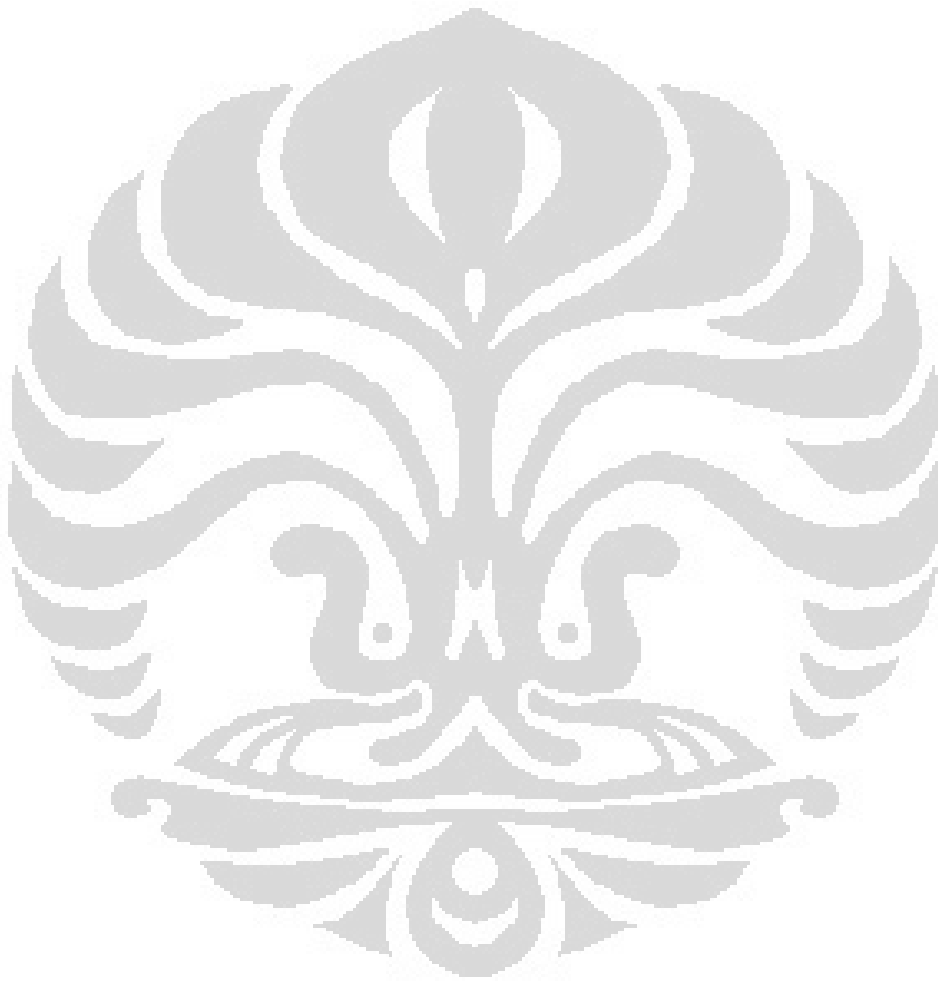
DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Nilai kecepatan pegadukan.....	32
Persamaan 2.2 Daya yang dibutuhkan untuk pengadukan.....	32
Persamaan 2.3 Nilai bilangan Reynold.....	32
Persamaan 2.4 Tenaga yang dihasilkan oleh putaran paddle wheel.....	33
Persamaan 2.5 Nilai headloss.....	33
Persamaan 2.6 Headloss Aliran air di baffles channel.....	33
Persamaan 2.7 Headloss Aliran air di baffles channel.....	33
Persamaan 2.8 Jumlah kanal dalam flokulator horizontal.....	34
Persamaan 2.8 Jumlah kanal dalam flokulator vertikal.....	34



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pengukuran Nilai BOD, COD, dan Ph.....	91
Lampiran 2 Dokumentasi Percobaan Koagulasi – Flokulasi.....	97



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Rumah sakit merupakan salah satu fasilitas penting yang dibutuhkan oleh masyarakat, karena rumah sakit adalah tempat yang diharapkan dapat menyembuhkan berbagai penyakit yang diderita oleh pasien. Aktivitas yang terdapat di rumah sakit tentunya berbagai macam, dimulai dari diagnosa, perawatan, tindakan medis dan lainnya. Dari setiap aktivitas yang dilakukan di rumah sakit pasti menghasilkan limbah, baik padat, cair, maupun gas. Rumah sakit yang merupakan tempat untuk menyembuhkan orang sakit juga dapat menjadi sumber penyakit dan kontaminasi bagi pasien, pengunjung, bahkan lingkungan sekitar bila limbah yang dihasilkan dari setiap aktivitas yang terjadi tidak diolah dan dipelihara dengan baik. Pelayanan kesehatan, memiliki tujuan untuk mengurangi masalah dalam kesehatan dan menyingkirkan potensi resiko kesehatan manusia, namun juga menghasilkan limbah yang dapat membahayakan kesehatan (Prüss et al., 1999).

Limbah cair yang dihasilkan rumah sakit memiliki karakteristik yang berbeda dengan limbah yang dihasilkan dari sumber lain, karena berasal dari beberapa sumber, seperti kamar mandi, dapur, ruang operasi, laboratorium, dan lainnya. Limbah rumah sakit mengandung berbagai macam bahan organik berbahaya, seperti bahan farmasi, radionuclides, larutan, dan desinfektan untuk tujuan medis yang jumlah dan konsentrasinya berbagai macam yang digunakan untuk keperluan laboratorium dan aktivitas penelitian maupun pembuangan obat (Emmanuel et al., 2005). Limbah cair medis yang dihasilkan rumah sakit tergolong limbah B3 karena dapat berbahaya bagi lingkungan dan mengandung bahan kimia, patogen, limbah farmasi, logam berat, dan elemen radioaktif. Limbah B3, menurut PP No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, adalah sisa suatu usaha dan atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan atau beracun yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup dan atau membahayakan

lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain. Limbah medis, bila tidak ditangani dan diolah, dapat membawa resiko yang tinggi dan memiliki dampak yang serius dan berbahaya kepada kesehatan seseorang (Rushbrook et al., 2000; UNEP, 1996; Prüss et al., 1999).

Salah satu contoh kasus akibat limbah rumah sakit adalah pada tahun 1990, WHO melaporkan delapan kasus terinfeksi pekerja kesehatan oleh virus HIV di Perancis, dua diantara pekerja merupakan yang menangani limbah medis (DepKes, 2006). Permasalahan lain yang dapat timbul dari limbah cair rumah sakit adalah, dosis dari polutan yang dihasilkan rumah sakit menunjukkan bahwa kontaminan organohalogen dan farmasi kebanyakan meninggalkan WWTP tanpa adanya degradasi (Richardson and Bowron, 1985; Gattisser et al., 1996; Kümmerer et al., 1997; Halling-Sorensen, 1998; Sprehe et al., 1999).

Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo (RSCM) merupakan salah satu rumah sakit pusat rujukan yang terdapat di Indonesia yang terletak di Jakarta Pusat yang memiliki luas lahan 117,81 km² dengan 1220 jumlah tempat tidur. RSCM termasuk rumah sakit dengan tipe A, yaitu rumah sakit yang harus mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medis paling sedikit 4 pelayanan medis dasar, 5 pelayanan spesialis penunjang medis, 12 pelayanan medis spesialis lain, dan 13 pelayanan medis subspecialis (PMK No. 340, Pasal 6 tentang Klasifikasi Rumah Sakit). Dengan besarnya kapasitas pasien dan tenaga kerja yang terdapat di RSCM, sehingga dibutuhkan suatu pengolahan limbah sehingga memungkinkan aktivitas medis yang terdapat di rumah sakit tersebut tidak mencemari lingkungan yang terdapat di sekitarnya.

Pengolahan limbah cair yang terdapat di RSCM menggunakan dua buah IPAL, IPAL 1 berkapasitas 500 m³ dan IPAL 2 dengan kapasitas 800 m³, menggunakan metode Activated Sludge. IPAL yang terdapat di RSCM mengolah semua limbah cair yang dihasilkan, baik limbah cair non medis maupun limbah cair medis. Pencampuran pengolahan limbah cair medis maupun non medis dapat memberikan beban tertentu bagi IPAL dan juga tidak semua kontaminan dapat terdegradasi melalui pengolahan IPAL.

Kedepannya RSCM akan mengoperasikan pengolahan *pre-treatment* untuk limbah cair yang dihasilkan oleh Gedung *Centre Medical Unit* (CMU) 2.

Gedung CMU 2 akan menghasilkan limbah medis dari laboratorium, farmasi, dan hispatologi-patologi anatomi. *Pre-treatment* dilakukan untuk mengurangi kadar kontaminan yang terkandung dalam limbah medis rumah sakit. Kontaminan yang terkandung di dalam limbah medis tergolong limbah B3 dan bila dibuang ke dalam IPAL, dapat menambah beban IPAL, karena memiliki dampak dapat mencemarkan dan atau merusak (PP No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun).

Salah satu *pre-treatment* yang dapat digunakan ialah menggunakan koagulasi-flokulasi. *Pre-treatment* koagulasi-flokulasi dipilih karena dapat mengurangi kadar kontaminan dalam limbah cair medis, juga dikarenakan efektivitas dari proses tersebut dapat dikatakan cukup tinggi.

Indikasi kandungan material toksik dalam limbah cair medis dapat dilihat dari rasio BOD/COD limbah tersebut. Rasio BOD/COD merupakan indikasi pertama dari kemampuan biodegradable. Rasio BOD/COD yang mendekati nol menunjukkan bahwa air limbah tersebut mengandung substansi yang bersifat toksik (Siregar, 2005).

Diharapkan setelah dilakukannya *pre-treatment* koagulasi-flokulasi terhadap limbah cair medis kadar kontaminan toksik yang diterima IPAL tidaklah terlalu besar dan IPAL dapat bekerja dengan maksimal.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka rumusan masalah yang terdapat dalam penelitian ini adalah :

- Belum diketahuinya rasio BOD/COD limbah cair medis yang terdapat di RSCM.
- Belum diketahuinya efektivitas dari *pre-treatment* koagulasi-flokulasi terhadap limbah cair medis RSCM.

Dari rumusan masalah diatas, terdapat beberapa pertanyaan penelitian yaitu :

- Berapa rasio BOD/COD limbah medis cair RSCM?
- Bagaimana efektivitas *pre-treatment* limbah cair medis menggunakan metode koagulasi-flokulasi?
- Berapa dosis optimal koagulan yang digunakan dalam *pre-treatment* koagulasi-flokulasi?
- Bagaimana usulan desain unit koagulasi-flokulasi yang sesuai untuk limbah medis RSCM?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu tujuan umum dan tujuan khusus. Tujuan umum yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas *pre-treatment* koagulasi-flokulasi untuk mereduksi kandungan toksisitas, menggunakan indikasi rasio BOD/COD, dalam limbah cair medis RSCM sebelum limbah tersebut masuk ke dalam pengolahan biologis.

Untuk mencapai tujuan umum tersebut, maka dirumuskan tujuan khusus, diantaranya adalah :

- Mengetahui rasio BOD/COD limbah cair medis RSCM.
- Mengetahui efektivitas dari *pre-treatment* limbah cair farmasi menggunakan metode koagulasi-flokulasi
- Menentukan dosis optimal dari koagulan yang digunakan dalam *pre-treatment* koagulasi-flokulasi
- Mendesain unit koagulasi-flokulasi untuk limbah medis RSCM

1.4 BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah dalam penelitian yang dilakukan adalah

- Limbah cair medis yang dimaksud adalah limbah cair hasil penggunaan bahan kimia yang berasal dari farmasi dan laboratorium, yang belum tercampur dengan limbah lain atau mengalami pengenceran.
- Limbah medis yang digunakan dalam penelitian dihasilkan dari laboratorium patologi anatomi dan unit produksi farmasi RSCM.

- Sampel limbah cair medis RSCM yang akan digunakan dalam penelitian diambil tiga kali pada tanggal 1 & 13 Maret dan 10 April tahun 2012.
- IPAL RSCM yang ditinjau adalah IPAL 1 dengan kapasitas 550 m³

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain :

- Memberikan tambahan informasi mengenai karakteristik limbah cair medis yang dihasilkan oleh RSCM
- Memberikan salah satu rekomendasi dan bahan masukan untuk pengolahan limbah medis rumah sakit, salah satunya dengan menggunakan *pre-treatment* metode koagulasi-flokulasi
- Memberikan tambahan informasi dan referensi kepada dunia pendidikan dan masyarakat mengenai efektivitas pengolahan limbah cair medis dengan *pre-treatment* metode koagulasi-flokulasi

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi mengenai latar belakang permasalahan, rumusan permasalahan, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : STUDI LITERATUR

Bab ini berisi mengenai teori-teori yang menjadi dasar analisis dalam penulisan skripsi, seperti mengenai limbah rumah sakit, khususnya karakteristik limbah cair rumah sakit, pengolahan limbah cair rumah sakit, *pre-treatment* koagulasi-flokulasi dan teori lainnya yang mendukung penulisan skripsi.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

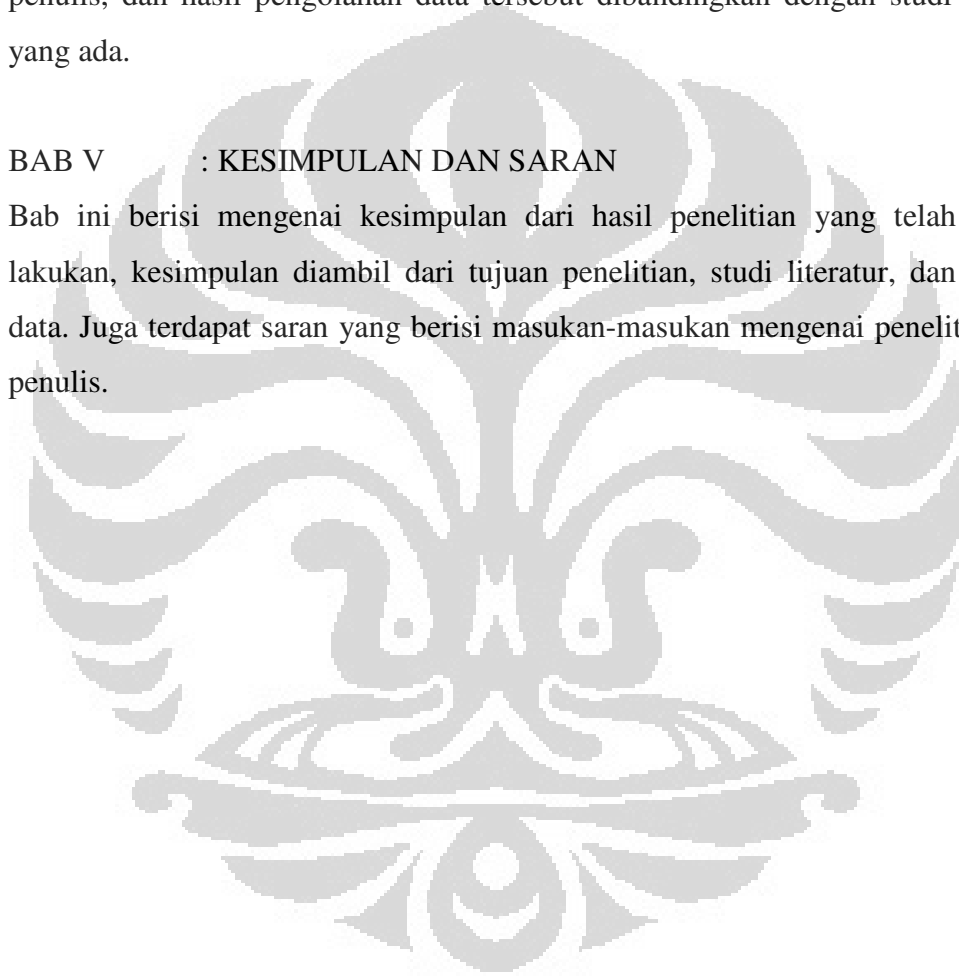
Bab ini berisi mengenai metode yang dilakukan penulis dalam penelitian skripsi, seperti persiapan penelitian, waktu penelitian, peralatan yang digunakan selama penelitian, prosedur penelitian, dan lainnya.

BAB IV : PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Bab ini berisi mengenai pengolahan data terhadap penelitian yang dilakukan penulis, dan hasil pengolahan data tersebut dibandingkan dengan studi literatur yang ada.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah penulis lakukan, kesimpulan diambil dari tujuan penelitian, studi literatur, dan analisis data. Juga terdapat saran yang berisi masukan-masukan mengenai penelitian oleh penulis.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 LIMBAH RUMAH SAKIT

Rumah sakit adalah sarana upaya kesehatan yang menyelenggarakan kegiatan pelayanan kesehatan serta dapat berfungsi sebagai tempat pendidikan tenaga kesehatan dan penelitian. Limbah rumah sakit adalah semua limbah yang dihasilkan dari kegiatan rumah sakit dalam bentuk padat, cair, dan gas (PERMENKES, 2004).

2.1.1 Kategori Limbah Rumah Sakit

Menurut Emmanuel (2004), limbah yang dihasilkan rumah sakit terbagi menjadi dua, yakni :

2.1.1.1 Limbah Non-medis

Limbah non-medis adalah sisa kegiatan atau hasil buangan yang bukan dari aktivitas medis. Limbah non medis, diklasifikasi sebagai limbah non-infeksius. Limbah yang termasuk non-medis adalah kertas pembungkus, sampah dari kantor, dan plastik yang tidak terkontaminasi dengan cairan dari pasien (Akter et al, 1998).

2.1.1.2 Limbah Medis

Limbah medis adalah sisa kegiatan atau hasil buangan dari aktivitas medis. Dari seluruh limbah yang dihasilkan di rumah sakit, 10–15 % nya adalah limbah medis (BPLHD Jabar, 2009). Penggolongan kategori limbah medis dapat diklasifikasikan berdasarkan potensi bahaya yang tergantung didalamnya, serta volume dan sifat persistensinya yang menimbulkan masalah (Depkes RI, 2002). Limbah medis bersifat berbahaya bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, karena diduga sudah terkontaminasi oleh bakteri, virus, bahan kimia, dan lainnya. Sehingga limbah medis termasuk dalam kategori limbah berbahaya dan beracun (B3) sesuai dengan PP No. 18 Tahun 1999 dan PP No. 85 Tahun 1999 daftar limbah spesifik dengan kode limbah D227. Dalam kode limbah D227 tersebut disebutkan bahwa limbah rumah sakit dan limbah klinis yang termasuk limbah B3 adalah limbah klinis, produk farmasi kadaluarsa, peralatan laboratorium

terkontaminasi, kemasan produk farmasi, limbah laboratorium, dan residu proses insenerasi.

Limbah medis dapat dibagi menjadi beberapa kategori (Pruss et al., 1999; Marinkovic et al., 2007), yaitu :

- Limbah infeksius, merupakan limbah yang memiliki kecenderungan mengandung patogen, seperti kultur laboratorium, perban, kapas, materi atau peralatan pasien
- Limbah patologis, merupakan jaringan atau potongan tubuh pasien yang tidak digunakan lagi, seperti darah, bagian tubuh, dan lainnya
- Limbah benda tajam, merupakan limbah padat yang bersifat tajam, seperti jarum, pisau, potongan kaca, dan lainnya
- Limbah farmasi, merupakan limbah yang mengandung bahan farmasi, seperti limbah sisa obat-obatan yang tidak digunakan kembali, bahan yang tercemar obat-obatan, obat yang kadaluarsa, dan lainnya
- Limbah genotoksik, merupakan limbah yang mengandung sifat genotoksik, seperti obat-obatan yang mengandung sitostastik yang biasa dipakai dalam terapi kanker
- Limbah kimia, merupakan limbah yang mengandung bahan kimia, seperti limbah dari laboratorium, desinfektan yang tidak digunakan, dan lainnya
- Limbah dengan kandungan logam tinggi, seperti baterai, alat pengukur tekanan darah, dan lainnya
- Limbah radioaktif, biasanya dihasilkan dalam terapi yang menggunakan radioaktif
- Wadah bertekanan, seperti kaleng aerosol, oksigen dalam bentuk gas atau cair.

2.1.2 Sumber Limbah Medis Rumah Sakit

Berdasarkan BPLHD Jabar (2009), limbah medis rumah sakit bersumber dari :

- Unit pelayanan kesehatan dasar
- Unit pelayanan kesehatan rujukan
- Unit pelayanan kesehatan penunjang (laboratorium)
- Unit pelayanan non kesehatan (farmasi)

2.1.3 Dampak Limbah Medis Rumah Sakit

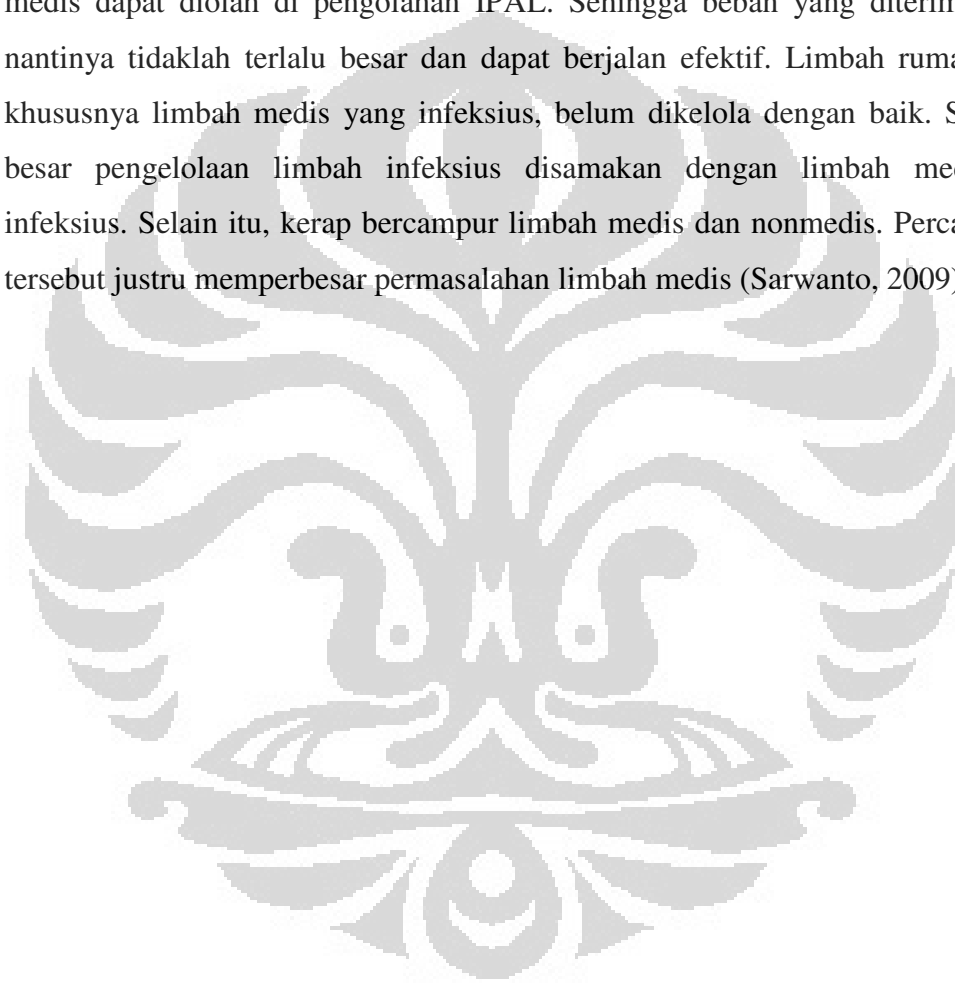
Pengelolaan lingkungan yang tidak tepat akan beresiko terhadap penularan penyakit. Beberapa resiko kesehatan yang mungkin ditimbulkan akibat keberadaan rumah sakit antara lain: penyakit menular (hepatitis, diare, campak, AIDS, influenza), bahaya radiasi (kanker, kelainan organ genetik), dan resiko bahaya kimia (KemenLH, n.d.). Limbah rumah sakit yang berasal dari bahan kimia dapat berpengaruh terhadap kesehatan manusia sehingga dapat memberikan dampak yang merugikan bila tidak diolah (Gambar 2.1).

Hingga saat ini masih terdapat beberapa rumah sakit yang belum memiliki pengolahan limbah yang memadai. Hal ini dikarenakan belum adanya perhatian yang serius, pengetahuan dan pemahaman mengenai pengelolaan limbah medis belumlah tercukupi. Masih terdapat rumah sakit yang belum mengetahui mengenai tata cara dan kewajiban pengelolaan limbah medis, baik dalam hal penyimpanan maupun pengolahannya. Dari hasil data pengawasan DKI Jakarta per Juni 2005 oleh Kementrian Negara Lingkungan Hidup, menunjukkan bahwa dari 77 Rumah Sakit yang diawasi :

- Hanya 32 RS (40%) yang mempunyai alat ukur debit
- Hanya 27 RS (35%) yang melakukan swapantau
- Hanya 25 RS (32%) yang memenuhi Baku Mutu Air Limbah (BMAL)

Limbah cair rumah sakit adalah semua bahan buangan termasuk tinja yang berasal dari kegiatan di rumah sakit yang kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan kimia beracun dan radioaktif yang berbahaya bagi kesehatan (PERMENKES, 2004). Limbah cair yang dihasilkan rumah sakit berasal dari berbagai macam sumber, diantaranya dari dapur, kamar mandi, laundry, laboratorium, farmasi, dan lainnya. Limbah-limbah tersebut kemungkinan besar mengandung mikroorganisme patogen atau bahan kimia beracun berbahaya yang menyebabkan penyakit infeksi dan dapat tersebar ke lingkungan rumah sakit yang disebabkan oleh teknik pelayanan kesehatan yang kurang memadai, kesalahan penanganan bahan-bahan terkontaminasi dan peralatan, serta penyediaan dan pemeliharaan sarana sanitasi yang masih buruk (Said, 1999).

Dikarenakan resiko yang ditimbulkan, maka dibutuhkan pengolahan sebelum limbah cair tersebut dibuang ke lingkungan, khususnya untuk limbah cair medis yang dihasilkan rumah sakit membutuhkan pengolahan khusus. Pengolahan khusus yang dimaksud adalah dilakukannya *pre-treatment* sebelum diolah ke IPAL. Karena apabila limbah cair medis tersebut langsung diolah ke dalam IPAL, hal tersebut akan menambah beban IPAL dari yang seharusnya dikarenakan konsentrasi dan jumlah kontaminan yang tinggi, juga tidak semua limbah cair medis dapat diolah di pengolahan IPAL. Sehingga beban yang diterima IPAL nantinya tidaklah terlalu besar dan dapat berjalan efektif. Limbah rumah sakit, khususnya limbah medis yang infeksius, belum dikelola dengan baik. Sebagian besar pengelolaan limbah infeksius disamakan dengan limbah medis non infeksius. Selain itu, kerap bercampur limbah medis dan nonmedis. Percampuran tersebut justru memperbesar permasalahan limbah medis (Sarwanto, 2009).



Tabel 2.1. Bahan Kimia dan Dampak Bagi Manusia

No	Bahan Kimia	Penggunaan	Sifat	Efek
1	Xylene	Penghilangan minyak	Toksik	sakit kepala, euforia, kepala terasa ringan, pusing, mengantuk, mual, iritasi paru-paru, Iritasi kulit, detak jantung tidak teratur, pingsan, dan akhirnya kematian
2	Carbol Fuchsin	Memperbaiki sputum slides	Korosif, beracun	Mudah diserap, dapat menyebabkan pembakaran parah, menyebabkan nyeri dada, batuk, iritasi tenggorokan, kejang, dan akhirnya kematian
3	Phenol	Desinfektan,	Korosif, mudah terbakar, beracun	Dapat menyebabkan pembakaran pada kulit, mata, dan paru-paru; mual, muntah, iritasi; kerusakan ginjal, dan hati
4	Asam Hidroklorida	Memperbaiki sputum slides	Korosif, Beracun	Menyebabkan rasa panas bila terkena kontak, sulit bernafas, batuk
5	Methylene Blue	keperluan darah, dan sputum slides		Berbahaya bila terkena mata, kulit, dan pakaian
6	Bahan Kimia Kemoterapi dan Anti-neoplastic	Pengobatan	Beracun	Karsinogenik, dan resiko kesehatan lainnya
7	Formaldehyde	Patologi, Autopsi	Beracun, berbahaya	Resiko kesehatan, dapat karsinogenik, iritasi pada mata hidung, dan tenggorokan
8	Glutaraldehyde	X-ray	Beracun, berbahaya	Resiko kesehatan
9	Ethylene Oxide	Sterilisasi	Beracun, berbahaya	Berbahaya untuk kesehatan
10	Gas asam (HCl, NOx, SO2)	Laboratorium	Berbahaya	Efek akut, iritasi, dapat berikatan dengan logam berat
11	PCBs Polychlorinated biphenyls	Obat industri	Beracun, berbahaya	Menyebabkan penyakit hati, mengganggu reproduksi, merusak sistem syaraf, dan karsinogenik
12	Logam berat (mercury, arsenic, dan zinc)	Instrumen pengobatan, obat industri	Beracun	karsinogenik, mutagenik, tumor, kerusakan syaraf, gangguan ginjal, kerusakan struktur tulang, kebutaan, dan kematian

Sumber : Akter et al., 1998

2.2 KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT

Limbah cair rumah sakit memiliki karakteristik tertentu, berbeda dengan limbah cair domestik karena kandungan didalamnya, yakni :

Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Cair Rumah Sakit

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum	Rata-rata
1	BOD	mg/l	31,52	675,33	353,43
2	COD	mg/l	46,62	1183,4	615,01
3	Angka Permanganat (KMnO ₄)	mg/l	69,84	739,56	404,7
4	Ammoniak (NH ₃)	mg/l	10,79	158,73	84,76
5	Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/l	0,013	0,274	0,1435
6	Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/l	2,25	8,91	5,58
7	Klorida (Cl ⁻)	mg/l	29,74	103,73	66,735
8	Sulfat (SO ₄ ⁻)	mg/l	81,3	120,6	100,96
9	Ph		4,92	8,99	6,96
10	Zat Padat Tersuspensi (SS)	mg/l	27,5	211	119,25
11	Detergen (MBAS)	mg/l	1,66	9,78	5,725
12	Minyak/Lemak	mg/l	1	125	63
13	Cadmium (Cd)	mg/l	tidak terdefinisi	0,016	0,008
14	Timbal (Pb)	mg/l	0,002	0,04	0,021
15	Tembaga (Cu)	mg/l	tidak terdefinisi	0,49	0,245
16	Besi (Fe)	mg/l	0,19	70	35,1
17	Warna	Pt-Co	31	150	76
18	Phenol	mg/l	0,04	0,63	0,035

Sumber : PD PAL Jaya, 1995

Dari tabel diatas dapat dilihat kandungan yang terdapat di dalam limbah cair rumah sakit. Secara umum, karakteristik limbah cair rumah sakit dibagi menjadi tiga bagian, yaitu karakteristik kimia, fisika, dan biologi.

2.2.1 Karakteristik Kimia

Karakteristik kimia dari suatu limbah dapat diketahui dari zat kimia yang terkandung dalam limbah cair rumah sakit tersebut. Secara umum, karakteristik kimia dalam limbah cair terbagi dua, yaitu kimia anorganik (pH, Cl, logam berat)

dan kimia organik (BOD, COD, lemak atau minyak, deterjen, angka permanganat). Semakin besar konsentrasi atau kandungannya dalam limbah, semakin berbahaya limbah tersebut. Efluen dari rumah sakit biasanya memiliki konsentrasi senyawa chlorine yang tinggi dan terdapat logam berat (Leprat, 1998; Jolibois et al., 2002). Terdapat beberapa parameter untuk mengetahui karakteristik kimia dari suatu limbah, diantaranya adalah :

a. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

BOD adalah jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi senyawa organik yang terdapat dalam limbah. Hasil analisis BOD menunjukkan besarnya kandungan senyawa organik yang dapat terbiodegradasi (Rahayu, 2007).

Menurut Metcalf & Eddy (2003), data BOD tetap digunakan hingga saat ini karena beberapa alasan dan berhubungan dengan pengolahan air limbah, yaitu :

- penting untuk mengetahui perkiraan jumlah oksigen yang akan diperlukan untuk menstabilkan bahan organik yang ada secara biologi
- penting untuk mengetahui ukuran fasilitas unit pengolahan limbah
- penting untuk mengukur efisiensi suatu proses perlakuan dalam pengolahan limbah
- penting untuk mengetahui kesesuaiannya dengan batasan yang diperbolehkan untuk pembuangan air limbah

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD adalah banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Hasil COD menunjukkan kandungan senyawa organik yang terdapat dalam limbah (Rahayu, 2007).

Pengukuran ini diperlukan untuk mengukur kebutuhan oksigen terhadap zat organik yang sukar dihancurkan secara oksidasi. Oleh karena itu, dibutuhkan bantuan pereaksi oksidator yang kuat dalam suasana asam.

Perbandingan angka BOD/COD digunakan sebagai indikator peningkatan biodegradable, dimana nilai nol menunjukkan limbah non-biodegradable. Sedangkan peningkatan rasio perbandingan menunjukkan peningkatan biodegradable. Jika rasio BOD/COD untuk limbah yang belum diolah

bernilai $\geq 0,5$ maka limbah tersebut dapat dikatakan diolah dengan pengolahan biologis. Apabila rasio BOD/COD $< 0,3$, limbah tersebut kemungkinan mengandung komponen toksik atau mikroorganisme yang terkandung didalamnya membutuhkan penyesuaian dengan lingkungan (Metcalf dan Eddy, 2003).

Rasio perbandingan nilai BOD/COD yang rendah (pada umumnya kurang dari 0,1) menunjukkan bahwa limbah tersebut tidak dapat diolah secara biologi dan konvensional (Dwirianti, 2004).

c. Keasaman Air (pH)

Keasaman air merupakan tingkatan dari derajat keasaman yang dikandung oleh air tersebut. Hal ini dipengaruhi oleh konsentrasi ion hidrogen dalam air tersebut. Derajat keasaman air mempengaruhi aktifitas mikroorganisme dan proses lainnya yang terdapat dalam air tersebut. Sifat asam dapat dihasilkan dari buangan limbah yang mengandung asam sulfat, asam klorida, dan lainnya. Sedangkan sifat basa dapat dihasilkan dari buangan limbah yang mengandung bahan anorganik, seperti senyawa karbonat, bikarbonat, dan hidroksida (Reynolds & Richards, 1996).

d. Alkalinitas

Alkalinitas air dipengaruhi kandungan yang terdapat dalam air tersebut. Alkalinitas air limbah berasal dari kehadiran hidroksida (OH⁻), karbonat, dan bikarbonat. Alkalinitas dari air limbah dapat membantu ketahanan pH dari perubahan dikarenakan penambahan asam (Reynolds & Richards, 1996).

e. Logam berat dan beracun

Semakin tinggi nilai logam berat yang terkandung dalam air, semakin berbahaya air tersebut. Terdapat beberapa logam berat yang umumnya ada dalam limbah cair, yaitu :

- Cadmium (Cd)
- Timbal (Pb)
- Tembaga (Cu)
- Besi (Fe)
- Chromium (Cr)

2.2.2 Karakteristik Fisika

Karakteristik fisik dari suatu limbah keberadaannya dapat diketahui dengan indra yang dimiliki manusia, bila dalam konsentrasi tertentu, seperti :

a. Kekeruhan

Kekeruhan adalah air yang mengandung bahan tersuspensi yang dapat menghalangi masuknya cahaya dalam air, sehingga mengganggu jarak pandang. Kekeruhan adalah ukuran yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur keadaan air dengan skala NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) atau JTU (*Jackson Turbidity Unit*) atau FTU (*Formazin Turbidity Unit*). Kekeruhan dapat disebabkan oleh bahan organik dan anorganik yang tersuspensi dalam air. Salah satu contoh yang dapat menyebabkan kekeruhan adalah pasir halus, tanah liat, dan lumpur alami yang merupakan bahan anorganik atau dapat pula berupa senyawa selulosa, lemak, protein, mikroorganisme yang merupakan bahan organik yang melayang dalam air (Reynolds & Richards, 1996).

b. Padatan

Secara umum padatan dibagi menjadi dua, yaitu padatan yang terlarut (*total dissolved solid*) dan padatan yang tersuspensi (*total suspended solid*). TDS adalah semua bahan yang lolos melalui saringan membran yang berpori $2\mu\text{m}$ atau lebih kecil dan dipanaskan pada suhu $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama satu jam. Sedangkan TSS adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal $2\mu\text{m}$ atau lebih besar dari ukuran partikel TDS dan padatan tersuspensi dalam air yang berupa bahan-bahan organik dan inorganik yang dapat disaring dengan kertas milipore berpori $0,45\mu\text{m}$ (Reynolds & Richards, 1996).

c. Temperatur

Temperatur berpengaruh terhadap aktifitas biologis dan kimiawi dalam air. Temperatur air limbah biasanya lebih tinggi dibanding air minum. Tergantung dari lokasi dan waktu, temperatur effluen limbah lebih tinggi atau lebih rendah dibanding temperatur influen (Reynolds & Richards, 1996).

d. Bau

Bau yang dihasilkan oleh air disebabkan oleh aktivitas penguraian zat-zat organik yang terjadi secara alamiah dan mengeluarkan gas. Gas yang menghasilkan bau tersebut biasanya adalah campuran dari sulfur, nitrogen, amoniak, dan fosfor (Reynolds & Richards, 1996)

e. Warna

Warna yang terdapat dalam air limbah memiliki hubungan dengan kekeruhan. Dari warna yang dimiliki oleh limbah, dapat diketahui umur dari limbah tersebut. Air limbah biasanya berwarna abu-abu terang kecoklatan, bila air sudah berwarna hitam berarti air tersebut dalam keadaan septik (Reynolds & Richards, 1996).

2.2.3 Karakteristik Biologi

Karakteristik biologi dalam limbah cair dapat diketahui dari kandungan mikroorganisme yang terdapat didalamnya. Dalam tingkatan kandungan mikrobiologi, effluen yang dihasilkan rumah sakit dan klinik memiliki beban yang lebih sedikit dibanding effluen yang dihasilkan oleh domestik. Limbah lebih berbahaya bila di effluen yang terdapat bakteri yang resisten terhadap antibiotik (*Proteus vulgaris*, *Mycobacteria*) dan yang biasa dihasilkan dari rumah sakit (*Enterobacter sakazakii*) (SFHH, 1993; Leprat, 1998; Schwartz et al., 2003; Emmanuel et al., 2005; Hartemann et al., 2005). Mikroorganisme yang biasa dijumpai adalah :

- a. Bakteri *Escheria Coli*
- b. Jamur
- c. Algae
- d. Protozoa
- e. Virus

2.3 PENGOLAHAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT

Pengelolaan limbah cair bertujuan untuk menghilangkan atau menyisihkan kontaminan. Kontaminan dapat berupa senyawa organik yang dinyatakan oleh nilai BOD, COD, nutrien, senyawa toksik, mikroorganisme

patogen, partikel non biodegradable, padatan tersuspensi maupun terlarut. Kontaminan dapat disisihkan dengan pengolahan fisik, kimia, dan biologi (Metcalf & Eddy, 2003). Pengolahan limbah cair yang dilakukan rumah sakit bertujuan mengolah dan mengurangi kadar kontaminan sehingga limbah cair dapat dibuang ke lingkungan sesuai dengan baku mutu yang telah ditentukan. Terdapat beberapa pengolahan limbah cair yang diaplikasikan oleh rumah sakit, diantaranya adalah pengolahan fisika, kimia, dan biologis.

Pengolahan fisika yang biasa digunakan adalah screening, sedimentation, dan filtration. Pengolahan kimia yang dapat digunakan adalah koagulasi-flokulasi dan desinfeksi. Pengolahan biologis yang digunakan diantaranya adalah Activated Sludge (AS) dan Rotating Biological Compactor (RBC). AS dan RBC digunakan dalam secondary treatment dalam pengolahan limbah rumah sakit, sedangkan untuk *pre-treatment* limbah cair medis pengolahan yang dapat digunakan adengan menggunakan membran dan koagulasi-flokulasi.

2.3.1 Membran Ultrafiltrasi (UF)

Membran UF memiliki cara kerja dengan proses pemisahan melalui membran menggunakan gaya dorong yang beda tekanannya sangat dipengaruhi oleh ukuran dan distribusi membran (Mallevalle, 1996). Membran berfungsi sebagai penghalang (*barrier*) tipis yang sangat selektif diantara dua fasa, hanya dapat melewatkan komponen tertentu dan menahan komponen lain dari suatu aliran fluida yang dilewatkan melalui membran (Mulder, 1996). Proses membran melibatkan umpan (cair dan gas), dan gaya dorong (*driving force*) akibat perbedaan tekanan (ΔP), perbedaan konsentrasi (ΔC), dan perbedaan energi (ΔE).

Proses pemisahan yang dilakukan terhadap partikel koloid. Kontaminan koloid akan tertahan oleh struktur pori yang berfungsi sebagai penyaring. Selain itu juga, UF dapat digunakan untuk menghilangkan zat organik yang terkandung dalam limbah (Notodarmojo & Deniva, 2004). Teknologi membran ultrafiltrasi telah banyak digunakan dalam berbagai industri seperti pengolahan air, pengolahan limbah cair, pengolahan bahan pangan dan minuman, serta industri farmasi dan kedokteran (Baker, 2004).

Penggunaan membran memiliki keuntungan tersendiri bila dibandingkan dengan penggunaan pengolahan lain, yaitu memerlukan energi yang lebih rendah untuk operasi dan pemeliharaan, desain, dan konstruksi untuk sistem dengan skala kecil, peralatannya modular sehingga mudah diskalakan dan tidak membutuhkan kondisi ekstrim (temperatur dan pH) (Wenten, 1996).

Menurut Mulder, 1996, terdapat berbagai macam jenis membran berdasarkan gradient tekanan yang digunakan sebagai gaya dorong dan permeabilitas, yaitu :

- a. Mikrofiltrasi (MF), beroperasi pada tekanan 0,1–2 Bar dengan batasan permeabilitas $> 50 \text{ L/m}^2\text{-jam}$ bar dan ukuran 0,1–1 mikron.
- b. Ultrafiltrasi (UF), beroperasi pada tekanan 5–20 Bar dengan batasan permeabilitas $10\text{--}50 \text{ L/m}^2\text{-jam}$ bar dan ukuran 0,001–0,01 mikron.
- c. Nanofiltrasi, beroperasi pada tekanan 5–20 Bar dengan batasan permeabilitas $1,4\text{--}12 \text{ L/m}^2\text{-jam}$ bar dan ukuran 0,0001–0,001 mikron.
- d. *Reverse Osmosis* (RO), beroperasi pada tekanan 10–100 Bar dengan batasan permeabilitas mencapai $0,05\text{--}1,4 \text{ L/m}^2\text{-jam}$ bar.

Terdapat dua buah sistem aliran dalam penggunaan membran (Mallack, et al., 1999), yaitu :

- a. *Cross-flow*, limbah dialirkan sejajar dengan permukaan membran. aliran umpan mengalir melalui membran, hanya sebagian saja yang melewati pori membran untuk mereduksi permeat, sedangkan aliran pelarut atau cairan pembawa akan melewati permukaan membran sehingga larutan, koloid, dan padatan tersuspensi yang tertahan oleh membran dan akan terus terbawa menjadi aliran balik.
- b. *Dead-end*, keseluruhan limbah dialirkan melewati membran (sebagai media filter) dan partikel tertahan pada membra, sehingga fluida umpan mengalir melalui tahanan membran dan tahanan penumpukan partikel pada permukaan membran.

Dalam penelitian yang menggunakan membran, menghasilkan bahwa penggunaan membran dapat mengurangi kandungan COD dalam limbah hingga mencapai efisiensi removal 90% (Notodarmojo et al., 2004; Una et al., 2007).

2.3.2 Activated Sludge (AS)

Activated sludge (AS) atau lumpur aktif adalah sistem yang paling banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair (Ignasius, 2000). Lumpur aktif merupakan sistem pengolahan dengan menggunakan bakteri aerobik yang dibiakkan dalam tanki aerasi yang bertujuan untuk menurunkan organik karbon atau organik nitrogen dan dioksidasi menjadi anorganik dan energi. Bahan organik dalam air buangan akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi karbon dioksida, ammonia, dan untuk pembentukan sel baru serta hasil lain yang berupa lumpur (*sludge*).

Menurut Said (2008), secara umum proses pengolahan AS adalah sebagai berikut. Air limbah yang berasal dari rumah sakit ditampung ke dalam bak penampung air limbah. Bak penampung ini berfungsi sebagai bak pengatur debit air limbah serta dilengkapi dengan saringan kasar untuk memisahkan kotoran yang besar. Kemudian, air limbah dalam bak penampung dipompa ke bak pengendap awal. Bak pengendap awal berfungsi untuk menurunkan padatan tersuspensi (*Suspended Solids*) sekitar 30 - 40 %, serta BOD sekitar 25%. Air limpasan dari bak pengendap awal dialirkan ke bak aerasi secara gravitasi. Di dalam bak aerasi ini air limbah dihembus dengan udara sehingga mikroorganisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah. Energi yang didapatkan dari hasil penguraian zat organik tersebut digunakan oleh mikroorganisme untuk proses pertumbuhannya. Dengan demikian didalam bak aerasi tersebut akan tumbuh dan berkembang biomasa dalam jumlah yang besar. Biomasa atau mikroorganisme inilah yang akan menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air limbah. Dari bak aerasi, air dialirkan ke bak pengendap akhir. Di dalam bak ini lumpur aktif yang mengandung massa mikroorganisme diendapkan dan dipompa kembali ke bagian inlet bak aerasi dengan pompa sirkulasi lumpur. Air limpasan (*over flow*) dari bak pengendap akhir dialirkan ke bak khlorinasi. Di dalam bak kontaktor khlor ini air limbah dikontakkan dengan

senyawa khlor untuk membunuh mikroorganisme patogen. Air olahan, yakni air yang keluar setelah proses khlorinasi dapat langsung dibuang ke sungai atau saluran umum. Surplus lumpur dari bak pengendap awal maupun akhir ditampung ke dalam bak pengering lumpur, sedangkan air resapannya ditampung kembali di bak penampung air limbah.

Variabel perencanaan yang umum digunakan dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem lumpur aktif (Davis dan Cornwell, 1985) adalah sebagai berikut :

a. *Beban BOD (BOD Loading rate)*

Beban BOD adalah jumlah massa BOD di dalam air limbah influen dibagi dengan volume reaktor.

b. *Mixed-Liquor Suspended Solids (MLSS)*

MLSS adalah jumlah dari bahan organik dan mineral berupa padatan terlarut, termasuk mikroorganisme do dalam mixed liquor (Ignasius, 1999). MLSS merupakan jumlah total dari padatan tersuspensi yang berupa material organik dan mineral, termasuk di dalamnya adalah mikroorganisme. MLSS ditentukan dengan cara menyaring lumpur campuran dengan kertas saring (*filter*), kemudian *filter* dikeringkan pada temperatur 105°C, dan berat padatan ditimbang.

c. *Mixed-Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS)*

Porsi organik pada MLSS diwakili oleh MLVSS, yang berisi material organik bukan mikroba, mikroba hidup dan mati, dan hancuran sel (Nelson dan Lawrence 1980). MLVSS diukur dengan memanaskan terus sampel *filter* yang telah kering pada suhu 600-650°C, dan nilainya mendekati 65-75% dari MLSS.

d. *Food-to-Microorganism ratio* atau *Food-to-Mass-Ratio (F/M ratio)*

Parameter ini menunjukkan jumlah zat organik (BOD) yang dihilangkan dibagi dengan jumlah massa mikroorganisme di dalam bak aerasi atau reaktor. Besarnya ditunjukkan dalam kilogram BOD per kilogram MLSS per hari.

e. *Hidraulic Retention Time (HRT)*

HRT adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh larutan influen masuk dalam tangki aerasi untuk proses lumpur aktif; nilainya berbanding terbalik dengan laju pengenceran (dilution rate, D).

f. *Hidraulic Recycle Ratio*

Hidraulic Recycle Ratio adalah perbandingan antara jumlah lumpur yang disirkulasi ke bak aerasi dengan jumlah air limbah yang masuk ke dalam aerasi.

g. Umur lumpur (*Sludge Age*)

Parameter ini menunjukkan waktu tinggal rata-rata mikroorganisme dalam sistem lumpur aktif. Jika HRT memerlukan waktu dalam jam, maka waktu tinggal sel mikroba dalam bak aerasi dapat dalam hitungan hari. Parameter ini berbanding terbalik dengan laju pertumbuhan mikroba.

Kelebihan yang dimiliki dalam pengolahan *activated sludge* adalah :

- Efisiensi pengolahan baik dengan kemampuan removal yang besar
- Hasil yang diperoleh memiliki kualitas effluent yang lebih baik (TSS lebih banyak dihilangkan)
- Memiliki kemampuan untuk mengadaptasikan dirinya pada kondisi influent air buangan yang melonjak secara tiba-tiba, walaupun memang kondisi yang optimal akan dicapai pada kondisi influent yang lebih konstan dan teratur
- Dapat mengolah air limbah dengan beban BOD yang besar, sehingga luas lahan yang dibutuhkan relatif tidak terlalu besar

Sedangkan, kelemahan yang dimiliki dalam penggunaan *activated sludge* adalah :

- Mekanisme kontroling dan prosesnya kompleks sehingga memerlukan ketelitian lebih agar beroperasi dengan baik
- Adanya kemungkinan terjadinya bulking pada lumpur aktif, terdapat buih, dan jumlah lumpur yang dihasilkan cukup besar
- Dibutuhkan tenaga ahli yang berkualitas untuk menjadi operator
- Biaya operasional dan kapitalnya lebih tinggi

2.3.3 Rotating Biological Contactor (RBC)

RBC merupakan pengolahan limbah, dalam prosesnya memungkinkan limbah untuk kontak dengan media biologis untuk mengurangi polutan yang terkandung dalam limbah tersebut, sebelum limbah diteruskan ke badan air (Cortez et al., 2008). RBC merupakan serangkaian alat yang terdiri dari piringan datar atau bergelombang yang dipasang pada poros horizontal dan sebagian atau seluruhnya akan tenggelam ke dalam air limbah. Rangkaian tersebut akan terus berputar yang digerakkan oleh motor dan media biologis akan memetabolisme bahan organik yang terkandung dalam limbah.

Media yang dipakai berupa piring tipis berbentuk bulat yang dipasang berjajar-jajar dalam suatu poros yang terbuat dari baja, selanjutnya diputar di dalam raktor khusus dimana di dalamnya dialirkan limbah secara terus-menerus (Metcalf & Eddy, 2003). Media yang digunakan biasanya terdiri dari lembaran plastik dengan diameter 2-4 meter, dengan ketebalam 0,8 sampai beberapa milimeter. Material yang lebih tipis dapat digunakan dengan cara dibentuk bergelombang atau berombak dan ditempelkan diantara piringan yang rata dan dilekatkan menjadi satu unit modul. Jarak antara dua piringan berkisar 30 - 40 milimeter.

Modul-modul tersebut diputar dalam keadaan tercelup sebagian yakni sekitar 40% dari diameter piringan. Kira-kira 95% dari seluruh permukaan media secara bergantian akan tercelup ke dalam air limbah dan berada di atas permukaan media dengan sendirinya dan mengambil makanan (zat organik) di dalam air limbah dan mengambil oksigen dari udara untuk menunjang proses metabolisme.

Secara garis besar pengolahan air limbah dengan sistem RBC terdiri dari bak pemisah pasir, bak pengendap awal, bak kontrol aliran, reaktor/kontaktor biologis putar (RBC), bak pengendap akhir, bak khlorinasi, serta unit pengolahan lumpur.

Menurut Said (2008), terdapat beberapa parameter desain yang harus diperhatikan dalam sistem RBC, diantaranya adalah :

- a. Ratio Volume Reaktor Terhadap Luas Permukaan Media (G)
Nilai G adalah menunjukkan kepadatan media yang dihitung sebagai perbandingan volume rektor dengan luas permukaan media. Beban BOD (BOD Surface Loading).
- b. Beban Hidrolik (*Hydraulic Loading*, HL)
Beban hidrolik adalah jumlah air limbah yang diolah persatuan luas permukaan media per hari. Dalam RBC, parameter ini relatif kurang begitu penting dibanding dengan parameter beban BOD, tetapi jika beban hidrolik terlalu besar maka akan mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme pada permukaan media.
- c. Waktu Tinggal Rata-rata (*Average Detention Time*, T)
Waktu tinggal rata-rata adalah debit air limbah yang diolah oleh volume efektif reaktor setiap harinya.
- d. Jumlah *Stage* (Tahap)
Dalam reaktor RBC dapat dibuat tahapan. Semakin banyak jumlah tahap, efisiensi pengolahan juga semakin besar (Metcalf & Eddy, 2003).
- e. Diameter Piringan
Diameter piringan yang kecil dengan jumlah tahapan yang banyak lebih efisien dibanding dengan diameter piringan yang besar namun jumlah tahapan yang sedikit.
- f. Kecepatan Putaran
Apabila kecepatan putaran lebih besar maka transfer oksigen dari udara di dalam air limbah akan menjadi lebih besar, tetapi akan memerlukan energi yang lebih besar.
- g. Temperatur
Suhu optimal untuk proses RBC berkisar antara 15-40 °C. Sistem RBC relatif sensitif terhadap perubahan suhu. Suhu tergantung dari konsentrasi organik yang terlarut di limbah tersebut (Metcalf & Eddy).

Metode pengolahan limbah cair yang biasa digunakan di rumah sakit adalah RBC dan AS. Hal tersebut dipengaruhi dari efisiensi, kemudahan dalam penggunaan, dan perawatan dari metode tersebut. Berikut merupakan perbandingan metode RBC dan AS dalam penggunaannya untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan oleh rumah sakit.

Tabel 2.3 Perbandingan RBC dan AS

No	Item	RBC	Activated Sludge
1	Tipe Biakan	Unggun Tetap (<i>Fixed Film</i>)	Tersuspensi
2	Jenis Mikroba	Bervariasi	Simpel
3	Konsumsi Energi	Relatif Kecil	Lebih Besar
4	Stabilitas Terhadap Fluktuasi Beban	Stabil	Tidak Stabil
5	Kualitas air olahan	Kurang baik	Baik
6	Operasional dan Perawatan	Mudah	Sulit
7	Konsentrasi Biomasa	Tidak terkontrol	Dapat dikontrol
8	Permasalahan yang sering terjadi	Penyumbatan (<i>clogging</i>)	Bulking (pertumbuhan tidak normal)
9	Fleksibilitas pengembangan	Fleksibel	Kurang fleksibel
10	Investasi awal	Relatif menguntungkan untuk kapasitas kecil atau medium	Menguntungkan untuk kapasitas besar

Sumber : Said, 2008

2.4 KOAGULASI-FLOKULASI

Koagulasi-flokulasi merupakan suatu proses yang digunakan untuk menghilangkan bahan pencemar yang terkandung dalam suatu limbah. Partikel yang umumnya harus melalui proses koagulasi-flokulasi untuk menghilangkannya adalah partikel koloid. Partikel koloid ditentukan melalui ukurannya. Ukuran partikel koloid umumnya mulai 0,001 mikron (10^{-6} mm) hingga 1 mikron (10^{-3}

mm). Jenis partikel yang ditemukan pada ukuran ini diantaranya adalah (1) partikel inorganik, seperti *asbestos fiber*, *clays*, dan *silts*; (2) *coagulant precipitates*; dan (3) partikel organik, seperti material *humic*, virus, bakteri, dan plankton (Qasim, Motley, dan Guang Zhu, 2000).

2.4.1 Koagulasi

Proses koagulasi merupakan proses pembubuhan bahan kimia (koagulan) ke dalam air yang akan diolah kemudian dilakukan pengadukan cepat dengan jangka waktu tertentu yang relatif cepat, biasanya dari 10 detik hingga 5 menit (Qasim, 2000). Tujuan utama dari proses koagulasi adalah untuk meningkatkan efisiensi perpindahan partikel kecil yang menyebabkan kekeruhan. Pengadukan cepat dilakukan agar partikel-partikel bermuatan yang terdapat di dalam air saling berikatan membentuk inti flok yang nantinya akan mengendap. Dalam proses ini hal utama terjadi adalah destabilisasi koloid, sehingga perubahan nilai kekeruhan sebelum dan sesudah proses merupakan indikator utama efisiensi dalam proses tersebut. Akhir-akhir ini, tidak hanya nilai kekeruhan yang dapat dikurangi dalam proses koagulasi, namun juga dapat mengurangi nilai senyawa organik dan anorganik yang tidak diinginkan yang terkandung dalam air. Secara garis besar mekanisme pembentukan flok terdiri dari empat tahap (Sianita dan Nurchayati, 2009), yaitu :

- Tahap destabilisasi partikel koloid
- Tahap pembentukan partikel koloid
- Tahap penggabungan mikro flok
- Tahap pembentukan makro flok

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas dari proses koagulasi, diantaranya adalah (Reynolds dan Richards. 1996) :

a. pH

pH memiliki pengaruh yang cukup penting dalam proses koagulasi, karena terdapat beberapa koagulan yang hanya bekerja dalam rentang pH tertentu.

b. Alkalinitas

Alkalinitas harus hadir dalam air, agar semua asam yang dilepaskan oleh koagulan dapat dihancurkan oleh alkalinitas di dalam air sehingga koagulasi dapat berjalan dengan efektif (Sawyer, McCarty, Parkin, 2003).

c. Temperatur

Temperatur berpengaruh pada daya koagulasi dan flokulasi yang terjadi, sehingga dibutuhkan pemakaian bahan kimia untuk mempertahankan hasil yang diinginkan. Koagulasi lebih cepat terbentuk pada suhu kamar/dingin. Pada suhu yang lebih tinggi koagulasi yang terbentuk akan terlarut kembali. Temperatur rendah akan memberikan efek negatif terhadap laju penggumpalan, sehingga flok menjadi lebih lama terbentuk (Feng et al, 2007).

d. Dosis Koagulan

Banyak atau sedikitnya flok bergantung dari dosis dari koagulan yang digunakan, maka untuk mendapatkan dosis koagulan yang optimum ditentukan berdasarkan percobaan jar test, sehingga koagulasi dapat berjalan dengan baik.

e. Pengadukan

Pengadukan pada proses koagulasi dibutuhkan untuk membuat netral partikel-partikel yang terkandung dalam limbah tersebut. Waktu detensi dan nilai G pada pengadukan bergantung dari sasaran pengadukan itu sendiri, yakni :

- Untuk proses koagulasi-flokulasi, waktu yang dibutuhkan = 20-60 detik, $G = 1000-700 \text{ detik}^{-1}$
- Untuk penurunan kesadahan (pelarutan kapur/soda), waktu yang dibutuhkan = 20-60 detik, $G = 1000-700 \text{ detik}^{-1}$
- Untuk presipitasi kimia (penurunan fosfat, logamberat, dan lainnya), waktu yang dibutuhkan = 0,5-6 menit, $G = 1000-700 \text{ detik}^{-1}$

Menurut Qasim (2000), berikut merupakan hal-hal yang dapat menjadi bahan pertimbangan dalam proses koagulasi, yaitu :

- Meningkatkan dosis koagulan dapat meningkatkan produksi lumpur. Sehingga keadaan eksisting penanganan lumpur perlu diperhatikan
- Tempat penyimpanan dan persediaan bahan kimia haruslah tersedia mencukupi
- Nilai optimum removal kekeruhan dapat tidak sesuai dengan peningkatan koagulasi yang dibutuhkan terhadap unsur tertentu
- Dengan meningkatkan kadar koagulan dalam proses koagulasi, maka biaya yang dikeluarkan juga akan meningkat untuk bahan kimia dan penambahan pH sebelum dan sesudah koagulasi

2.4.2 Flokulasi

Setelah proses koagulasi, partikel-partikel yang telah terdestabilisasi dapat diaduk perlahan untuk membentuk flok, proses ini disebut flokulasi (Qasim, 2000). Flokulasi merupakan proses yang penting dalam proses pengendapan. Pengadukan lambat yang dilakukan dalam proses ini bertujuan untuk membentuk flok-flok yang lebih besar. Ukuran flok yang biasa terbentuk ialah dari 0,1-2,0 mm. Waktu tinggal dalam proses flokulasi lebih lama dibanding dengan proses koagulasi. Waktu tinggal yang biasa digunakan yakni 20-60 menit (Qasim, 2000). Agar proses flokulasi yang dilakukan efektif, terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yaitu :

- Waktu flokulasi
- Jumlah energi yang diberikan
- Jumlah koagulan yang digunakan
- Nilai pH pada proses koagulasi

2.4.3 Koagulan

Pada pengolahan air bersih atau limbah yang dilakukan secara kimia, dibutuhkan bahan kimia untuk menurunkan kadar polutan yang terdapat di dalam air atau limbah tersebut, bahan kimia tersebut biasanya disebut sebagai koagulan. Koagulan biasanya digunakan dalam proses koagulasi. Koagulan berfungsi

sebagai donor positif untuk menstabilkan muatan negatif partikel-partikel yang terkandung dalam air, sehingga partikel tersebut menjadi netral dan dapat mengendap. Untuk limbah domestik yang belum diolah, dosis koagulan yang dapat digunakan adalah 300 mg/L atau lebih (Reynolds & Richards, 1996).

Terdapat berbagai macam koagulan yang digunakan dalam proses koagulasi, yaitu :

a. *Poly Alumunium Chloride (PAC)*

PAC adalah alumunium yang berhubungan unsur lain membentuk unit berulang dalam suatu ikatan rantai molekul yang cukup panjang. Dengan demikian PAC menggabungkan netralisasi dan kemampuan menjembatani partikel-partikel koloid sehingga koagulasi berlangsung efisien. Dalam penggunaan PAC dibutuhkan pengarahannya karena bersifat higroskopis (Hakim & Supriyatna, 2009).

b. *Alumunium Sulfat*

Alumunium sulfat biasa juga disebut sebagai tawas, sering dipakai karena efektif menurunkan kadar karbonat. Tawas berbentuk kristal atau bubuk putih, larut dalam air, tidak larut dalam alkohol, tidak mudah terbakar, ekonomis, mudah didapat, dan mudah disimpan. Terdapat kerugian dalam penggunaan PAC, biasanya dipasok dalam bentuk padatan sehingga butuh waktu yang cukup lama dalam pelarutan (Hakim & Supriyatna, 2009). Alkalinitas yang cukup terdapat di air dapat bereaksi dengan alumunium sulfat dan membentuk flok hidroksida. Alkalinitas biasanya berada di air dalam bentuk ion bikarbonat. Apabila alkalinitas tidak cukup terdapat dalam sampel, maka dapat ditambahkan alkalinitas, biasanya dalam bentuk ion hidroksida yaitu kalsium hidroksida, dalam bentuk sodium karbonat. Biasanya air memiliki alkalinitas yang cukup (Reynolds & Richards, 1996).

c. *Ferrous Sulfate*

Ferrous sulfate dikenal juga sebagai copperas, bentuk umumnya adalah granular. *Ferrous sulfate* sangat efektif dalam proses penjernihan air dengan pH tinggi (pH >10) (Hakim & Supriyatna, 2009). *Ferrous sulfate* membutuhkan alkalinitas dalam bentuk ion hidroksida untuk membantu reaksi yang cepat. Biasanya $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ditambahkan untuk meningkatkan pH

ke level dimana *ferrous* ion mengedap menjadi *ferric hydroxide*. Reaksi ini merupakan oksidasi-reduksi yang membutuhkan oksigen yang terlarut dalam air. *Ferrous sulfate* terdapat dalam bentuk padatan dan cairan, namun bentuk padatan lebih umum (Reynolds & Richards, 1996).

d. *Ferric Sulfate*

Ferric sulfate mampu menghilangkan warna pada pH yang rendah dan tinggi dan dapat menghilangkan Fe dan Mn. *Ferric sulfate* dapat berkerja optimum di rentang pH 4–12 karena ferric sulfat tidak terlarut dalam rentang pH tersebut. Ferric sulfat terdapat dalam bentuk kering, yaitu butiran dan bubuk (Hakim & Supriyatna, 2009)

e. *Ferrie Chlorida*

Ferric chlorida dalam pengolahan air biasanya digunakan terbatas, karena bersifat korosif dan tidak tahan dalam penyimpanan yang terlalu lama (Hakim & Supriyatna, 2009).

Nilai optimum pH dari dari *ferrie chlorida* adalah hampir sama dengan *ferrie sulfate*, yaitu antara 4–12. Flok yang terbentuk biasanya tebal dan pembentukan floknya cepat. *Ferrie chlorida* tersedia dalam wujud cair maupun padatan. *Ferrie chlorida* wujud padatan biasanya terdapat dalam bentuk bubuk maupun gumpalan. Gumpalan *ferrie chlorida* mengandung 59-61% FeCl_3 , serbuk mengandung 98% FeCl_3 , sedangkan dalam wujud cairan mengandung 37-47% FeCl_3 (Reynolds & Richards, 1996).

Penelitian yang dilakukan Suarez et, al., 2008, dihasilkan bahwa penggunaan FeCl_3 memiliki efektivitas lebih besar dibanding dengan penggunaan tawas sebagai koagulan untuk mengurangi nilai COD pada limbah yang dihasilkan rumah sakit.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh El-Gohary, 2010, koagulan FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, dan FeSO_4 , dalam mengolah limbah PCP (*Personnel Care Products*) dapat mengurangi nilai COD hingga sebesar $75,8 \pm 15,8\%$, $77,5 \pm 9,6$, dan $76,7 \pm 9,9\%$ dengan optimal sebesar 600 mg/l, 700 mg/l, dan 850 mg/l.

Berdasarkan penelitian diatas, maka dalam penelitian yang akan dilakukan menggunakan koagulan FeCl_3 dengan harapan dapat menghasilkan efisiensi removal maksimal.

2.4.4 Jar Test

Jar test merupakan metode standar yang dilakukan untuk menguji koagulasi (Gozan dkk, 2006; Kemmer, 2002). *Jar test* juga salah satu percobaan yang digunakan dalam laboratorium untuk mengevaluasi proses koagulasi maupun flokulasi yang terdapat di lapangan juga mengetahui dan menentukan kondisi optimum dari suatu koagulan yang diujicobakan.

Teknik laboratorium dari *jar test* biasanya dibutuhkan untuk mengetahui koagulan dan koagulan pembantu yang semestinya, jika dibutuhkan, dan dosis bahan kimia yang dibutuhkan dari air yang akan digunakan. Dalam tes ini, sampel air akan dituang ke dalam beberapa *beaker glass*, dengan berbagai macam dosis koagulan yang ditambahkan ke dalam *beaker glass*. Air diaduk dengan cepat untuk menstimulasi pengadukan cepat dan kemudian dilakukan pengadukan lambat untuk menstimulasi flokulasi. Setelah beberapa waktu, pengadukan dihentikan dan terbentuk flok dan akan mengendap. Aspek yang paling penting yang harus diperhatikan adalah waktu dari pembentukan flok, ukuran flok, karakteristik pengendapan, persentase kekeruhan dan warna yang berubah, dan pH akhir dari sampel yang telah dikoagulasi dan diendapkan. Dosis bahan kimia diketahui dari prosedur yang memberikan taksiran dosis yang dibutuhkan untuk pengolahan tersebut. Perkembangan modifikasi *jar test* memberikan nilai parameter G dan GT yang dibutuhkan untuk mendesain tempat pengolahan koagulasi dan flokulasi (Reynolds & Richards, 1996).

Suarez et al., 2008, melakukan penelitian mengenai *pre-treatment* limbah cair dari rumah sakit menggunakan metode *jar test* terhadap 13 bahan limbah farmasi dan produk perawatan pribadi (*pharmaceutical and personal care products*, PCPs). Penelitian tersebut menghasilkan efisiensi >90% untuk parameter galaxolide (*hexahydro hexamethyl cyclopenta benzopyran*, HHCB), tonalide (*acetyl hexamethyl tetraline*, AHTN), dan celectolide (ADBI) juga memiliki efisiensi 40–60% untuk parameter naproxen (*hydroxy propyl*

cyclodextrin, NPX) dan diclofenac (DCF). Sedangkan untuk parameter lainnya. Parameter TSS dan COD dapat dikurangi dengan signifikan, juga senyawa lipophilic dapat dikurangi dengan baik.

Penelitian yang dilakukan Gautam et al., 2006, mengenai pengolahan limbah cair rumah sakit di *Christian Medical College and Hospital*, Vellore, Tamil Nadu dengan eksperimen koagulasi dengan *jar test* menggunakan FeCl_3 . Hasil penelitian tersebut adalah efisiensi COD hingga 98% dengan pH 6,43 dan nilai TDS yang sebelumnya 1540 mg/L menjadi 56 mg/L. Koagulan yang digunakan adalah FeCl_3 dengan dosis optimal yang dihasilkan ialah 175 mg/L.

Dari kedua penelitian diatas maka dapat dikatakan bahwa pengolahan menggunakan koagulasi-flokulasi efektif untuk limbah cair rumah sakit, karena dapat mengurangi nilai PCPs, COD dan TSS yang dikandung limbah tersebut.

2.4.5 Perhitungan Unit Koagulasi–Flokulasi

Menurut Qasim (2000), dibutuhkan beberapa informasi penting sebelum mendesain unit koagulasi dan flokulasi, yaitu :

- a. Informasi yang harus didapatkan dalam laporan sebelum desain
 - Debit aliran (minimum, rata-rata, maksimum)
 - Bahan kimia yang digunakan dan dosisnya
 - Waktu dan kecepatan koagulasi
 - Waktu dan kecepatan flokulasi
- b. Informasi yang harus didapatkan untuk desain awal
 - Gambaran lokasi eksisting dan gambaran rencana pengolahan
 - Banyaknya unit yang akan digunakan (alat pengadukan cepat, flokulator, dan tempat bahan kimia)
 - Tipe dan lokasi unit pengolahan kimia lain yang digunakan sebagai pendukung koagulasi
 - Profil hidrolis unit untuk mengilustrasikan head-loss yang akan di desain
 - Tipe peralatan yang digunakan koagulasi
 - Tipe peralatan flokulasi
- c. Informasi yang harus didapatkan dari rencana dan operator
 - Daftar pilihan tipe dan peralatan dan pembuat

- Daftar pilihan desain dengan beberapa fasilitas koagulasi dan flokulasi dalam operasi pengolahan
- d. Informasi yang harus dikembangkan oleh engineer
- Parameter desain minimum yang dibuat
 - Tipe, ukuran, dan batasan dari ketersediaan bahan kimia, peralatan koagulasi, dan flokulasi

Berdasarkan Qasim (2000), untuk perhitungan desain unit koagulasi flokulasi dibutuhkan beberapa data perhitungan, diantaranya adalah :

- a. Perhitunga dimensi bak

Dari Q (debit, m³/s) desain dan t (waktu, s) yang dihasilkan, maka dapat dihitung L (panjang, m) dan W (lebar, m) bak dengan asumsi bak berbentuk bujur sangkar.

- b. Nilai gradien kecepatan pengadukan

$$G = \sqrt{\frac{P}{V\mu}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

G : gradien kecepatan, 1/s (G=700–1000/s)

P : daya yang dibutuhkan, N-m/s

V : volume bak, m³

μ : nilai absolut kecepatan air, N-s/m²

- c. Daya yang dibutuhkan untuk pengadukan

$$P = K_T n^3 D_i^5 \rho \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

P : daya yang dibutuhkan, N-m/s

K_T : konstanta pengaduk untuk aliran turbulen

n : kecepatan impeller, rps

D_i : impeller diameter, m

ρ : berat jenis air, kg/m³

- d. Nilai Bilangan Reynold

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 n \rho}{\mu} \dots\dots\dots(2.3)$$

e. Tenaga yang dihasilkan oleh putaran paddle wheel

$$P = C_o A \rho \frac{v^3}{2} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

C_o : koefisien drag

A : luas permukaan *paddle wheel*, m²

v : kecepatan relatif putaran *paddle*, m/s

f. Nilai *headloss*

- Aliran dalam pipa

$$h_L = f \frac{Lv^3}{D^2g} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

f : koefisien kekasaran pipa *Darcy-Weibach*

L : panjang pipa, m

v : kecepatan aliran air, m/s

D : diameter pipa, m

- Aliran air di baffled channel

$$h_L = k \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

k : koefisien kekasaran pipa *Darcy-Weibach*

- Aliran pada media berbutir

$$h_L = \frac{f}{\theta} \left(\frac{1-\alpha}{\alpha^3} \right) \frac{L}{d} \frac{v^2}{g} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$f = 150 \left(\frac{1-\alpha}{R_N} \right) + 1,75$$

$$N_{Re} = \frac{d.v.\rho}{\mu}$$

Dimana :

d : diameter rata-rata butiran, m

L : kedalaman media berbutir, m

α : porositas butiran ($\cong 0,4$)

N_{Re} : bilangan Reynold

θ : faktor bentuk ($\cong 0,8$)

g. Jumlah Kanal

- Dalam flokulator aliran horizontal

$$n = \left\{ \left[\frac{2 \cdot \mu \cdot t}{\rho(1,44+f)} \right] \left[\frac{H \cdot L \cdot G}{Q} \right]^2 \right\}^{1/3} \dots\dots\dots(2.8)$$

- Dalam flokulator aliran vertikal

$$n = \left\{ \left[\frac{2 \cdot \mu \cdot t}{\rho(1,44+f)} \right] \left[\frac{W \cdot L \cdot G}{Q} \right]^2 \right\}^{1/3} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

- n : jumlah kanal
- H : kedalaman air dalam kanal, m
- L : panjang bak flokulator, m
- G : gradien kecepatan, 1/s
- Q : debit aliran, m³/s
- t : waktu flokulasi, s
- μ : kekentalan dinamis air, kg/m.s
- ρ : berat jenis air, kg/m³
- f : koefisien gesek sekat
- W : lebar bak, m

2.5 PERATURAN PERUNDANGAN PENGELOLAAN LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT

Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan atau kegiatan (PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air). Terdapat beberapa peraturan yang mengatur mengenai pengelolaan lingkungan Rumah Sakit, diantaranya adalah :

2.5.1 Permenkes 1204/MENKES/SK/2004, mengatur tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit

Limbah cair harus dikumpulkan dalam kontainer yang sesuai dengan karakteristik bahan kimia dan radiologi, volume, dan prosedur penanganan dan penyimpanannya.

- Saluran pembuangan limbah harus menggunakan sistem saluran tertutup, kedap air, dan limbah harus mengalir dengan lancar, serta terpisah dengan saluran air hujan.
- Rumah sakit harus memiliki instalasi pengolahan limbah cair sendiri atau bersama-sama secara kolektif dengan bangunan disekitarnya yang memenuhi persyaratan teknis, apabila belum ada atau tidak terjangkau sistem pengolahan air limbah perkotaan.
- Perlu dipasang alat pengukur debit limbah cair untuk mengetahui debit harian limbah yang dihasilkan.
- Air limbah dari dapur harus dilengkapi penangkap lemak dan saluran air limbah harus dilengkapi/ditutup dengan gril.
- Air limbah yang berasal dari laboratorium harus diolah di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), bila tidak mempunyai IPAL harus dikelola sesuai kebutuhan yang berlaku melalui kerjasam dengan pihak lain atau pihak yang berwenang.
- Frekuensi pemeriksaan kualitas limbah cair terolah (effluent) dilakukan setiap bulan sekali untuk dipantau dan minimal 3 bulan sekali uji petik sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
- Rumah sakit yang menghasilkan limbah cair yang mengandung atau terkena zat radioaktif, pengelolaannya dilakukan sesuai ketentuan BATAN.
- Parameter radioaktif diberlakukan bagi rumah sakit sesuai dengan bahan radioaktif yang dipergunakan oleh rumah sakit yang bersangkutan.

Kualitas limbah (effluen) rumah sakit yang akan dibuang ke badan air atau lingkungan harus memenuhi persyaratan baku mutu effluen sesuai Keputusan Menteri lingkungan Hidup Nomor Kep- 58/MenLH/12/1995 atau peraturan daerah setempat.

2.5.2 Kepmen LH No. 58 Tahun 1995, mengatur tentang Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Rumah Sakit

Baku mutu limbah cair rumah sakit adalah batas maksimal limbah cair yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan dari suatu kegiatan rumah.

Tabel 2.4 Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Rumah Sakit

Parameter	Kadar maksimum
Fisika	
Suhu	30 ⁰ C
Kimia	
pH	6–9
BOD ₅	30 mg/l
COD	80 mg/l
TSS	30 mg/l
NH ₃ Bebas	0,1 mg/l
PO ₄	2 mg/l
Mikrobiologik	
MPN - Kuman Golongan Kol/100 mL	10000
Radioaktivitas	
³² P	7x10 ² Bq/L
³⁵ S	2x10 ³ Bq/L
⁴⁵ Ca	3x10 ² Bq/L
⁵¹ Cr	7x10 ⁴ Bq/L
⁶⁷ Ga	1x10 ³ Bq/L
⁸⁵ Sr	4x10 ³ Bq/L
⁹⁹ Mo	7x10 ³ Bq/L
¹¹³ Sn	3x10 ³ Bq/L
¹²⁵ I	1x10 ⁴ Bq/L
¹³¹ I	7x10 ⁴ Bq/L
¹⁹² Ir	1x10 ⁴ Bq/L
²⁰¹ Tl	1x10 ⁵ Bq/L

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup No. 58 Tahun 1995

2.5.3 PP No. 18 Tahun 1999 dan PP No. 85 Tahun 1999, mengatur tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Limbah dengan kode D227 adalah limbah yang bersumber dari rumah sakit dan laboratorium lingkungan dengan asal/uraian limbah dari limbah klinis, produk farmasi kadaluarsa, peralatan terkontaminasi, kemasan produk farmasi, limbah laboratorium, dan residu dari proses insenerasi serta pencemar utamanya adalah limbah terinfeksi, residu produk farmasi, dan bahan-bahan kimia.

2.5.4 Peraturan Gubernur DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005 tentang Limbah Cair Domestik

Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari kegiatan rumah tangga, perumahan, rumah susun, apartemen, perkantoran, rumah dan kantor rumah dan toko, rumah sakit, mall, pasar swalayan, balai pertemuan, hotel, industri, sekolah, baik berupa *grey water* (air bekas) ataupun *black water* (air kotor/tinja). Baku mutu limbah cair adalah batas kadar dan jumlah unsur pencemar yang ditenggang adanya dalam limbah cair untuk dibuang dari satu jenis kegiatan tertentu.

Tabel 2.5 Baku Mutu Limbah Cair Domestik Jakarta

Parameter	Satuan	Individual/ Rumah Tangga	Komunal
pH	-	6–9	6 - 9
KMnO ₄	mg/L	85	85
TSS	mg/L	50	50
Amoniak	mg/L	10	10
Minyak & Lemak	mg/L	10	10
Senyawa Biru Metilen	mg/L	2	2
COD	mg/L	100	80
BOD	mg/L	75	50

Sumber : Gubernur DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005

2.6 GAMBARAN UMUR RSUPN DR. CIPTO MANGUNKUSUMO

2.6.1 Fasilitas dan Pelayanan RSCM

RSUPN DR. Cipto Mangunkusumo (RSCM) merupakan rumah sakit dengan tipe A, yaitu yang mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medis paling sedikit 4 pelayanan medis dasar, 5 pelayanan spesialis penunjang medis, 12 pelayanan medis spesialis lain, dan 13 pelayanan medis subspecialis (PMK No. 340, Pasal 6 tentang Klasifikasi Rumah Sakit). RSCM status kepemilikan dibawah Departemen Kesehatan RI. Luas lahan RSCM sebesar 117,81 km².

RSCM terbagi menjadi beberapa departemen, yaitu :

- Departemen Medik Kesehatan Anak
- Departemen Medik Anestesi

- Departemen Medik Akupuntur
- Departemen Medik Ilmu Bedah

Sebagai salah satu rumah sakit rujukan di Indonesia, RSCM memiliki berusaha untuk memenuhi kebutuhan pasien. Berikut merupakan daftar rawat jalan yang dapat dimanfaatkan oleh pasien :

- Klinik farmasi
- Poliklinik psikiatri
- Poliklinik THT
- Poliklinik kulit dan kelamin
- Poliklinik kebidanan
- Poliklinik anak
- Poliklinik bedah
- Poliklinik gigi dan mulut
- Poliklinik geriatri terpadu
- Poliklinik akupuntur
- Bedah urologi
- Poliklinik penyakit dalam
- Poliklinik penyakit syaraf

RSCM memiliki fasilitas tempat untuk rawat inap, diantaranya adalah :

- Gedung A (900 kamar tidur)
- RSCM Kencana (74 kamar tidur)
- RSCM Kirana
- IKA
- Perinatologi (54 tempat tidur)
- Bedah Anak (37 tempat tidur)
- Unit Luka Bakar (13 tempat tidur)
- ICCU
- PKL & PKW

RSCM memiliki 1220 jumlah tempat tidur. Kebutuhan air satu tempat tidur di rumah sakit sebesar 950 liter/hari.bed (Qasim, 2000), maka kebutuhan air pada RSCM dalam satu hari ± 488.000 liter atau sebesar $\pm 488 \text{ m}^3$ bila jumlah pasien penuh. Limbah yang dihasilkan RSCM diolah terlebih dahulu sebelum dialirkan ke badan air. IPAL yang terdapat di RSCM berjumlah dua buah dan menggunakan Activated Sludge. IPAL 1 memiliki kapasitas 550 m^3 dan IPAL memiliki kapasitas 800 m^3 .

2.6.2 Eksisting Pengolahan Biologis *Activated Sludge* IPAL 1 RSUPN Cipto Mangunkusumo

Sistem pengolahan dalam IPAL 1 berjalan secara aerobik (membutuhkan udara, O_2) yang menggunakan metode lumpur aktif dengan media-media sebagai tempat melekatnya pertumbuhan bakteri pengurai. Terdapat beberapa parameter kunci yang digunakan sebagai pengontrol proses yang terjadi di dalam IPAL, secara garis besar adalah :

- pH pada proses ini harus dijaga dalam rentang 6,5–8,5
- suhu harus dijaga dalam kisaran $15\text{--}35 \text{ }^\circ\text{C}$
- perbandingan makanan (jumlah BOD) dengan mikroorganisme atau yang biasa disebut dengan rasio F/M, kisarnya dalam rentang 0,1–0,4 kg BOD/kg MLSS per hari
- oksigen terlarut (DO) dijaga antara kisaran 0,5–3 mg/L
- *rising sludge* atau lumpur yang timbul ke permukaan sesudah pengendapan, harus dicegah, karena hal ini mengakibatkan jumlah SS meningkat dan akan menambah beban filtering pada *Up Flow Filter* dan akan menimbulkan clogging dan berpengaruh pada hasil effluen.

Limbah rumah sakit yang diolah oleh IPAL 1 bersumber dari beberapa ruangan, diantaranya adalah :

- *Closet, floor drain*, dan wastafel
- Dapur dan laundry
- Kamar mayat, ruang operasi, farmasi, dan laboratorium patologi dan radiologi

Berikut merupakan debit harian limbah yang diterima dan diolah IPAL satu, yaitu :

Tabel 2.6 Debit IPAL 1 Periode Januari–September 2011

No	Bulan	Debit IPAL I	
		Inlet (m ³ /Hari)	Outlet (m ³ /Hari)
1	Januari	493,7	275,66
2	Februari	484,4	216,9
3	Maret	460,8	209,40
4	April	489,6	254,1
5	Mei	451,2	218,9
6	Juni	493,7	484,4
7	Juli	489,6	400,69
8	Agustus	460,6	481,5
9	September	432,0	244,0

Sumber : Laporan Hasil Uji RSCM

Dari beberapa sumber limbah di atas, terdapat limbah yang dihasilkan dari aktivitas medis dan mengandung bahan kimia dan organik tinggi dalam jumlah dan konsentrasi tertentu, diantaranya yang dihasilkan dari ruang operasi, farmasi, laboratorium patologi, dan radiologi. Limbah medis tersebut bila dalam jumlah dan konsentrasi yang tinggi dapat mengganggu efektivitas IPAL. Bahan kimia dan organik tinggi dalam limbah medis dapat mengganggu aktivitas mikroba yang digunakan dalam IPAL untuk mengolah limbah.

Berikut merupakan target dari desain influen dan effluen parameter yang diukur di IPAL 1 dalam mengolah limbah, yakni :

Tabel 2.7 Target Desain Effluen IPAL 1

Parameter	Satuan	Influen	Effluen	Efektivitas
Suhu	⁰ C	38–40	< 30	-
pH		6–9	6–9	-
BOD	mg/L	< 300	< 30	90 %
COD	mg/L	< 500	< 80	84 %
TSS	mg/L	< 700	< 30	95,71 %
NH ₃ Bebas	mg/L	< 7	< 0,1	98,57 %
PO ₄	mg/L	< 5	< 2	60 %
Total Coliform	MPN/100 mL	-	< 10000	-

Sumber : Manual Book IPAL 1 RSCM

2.6.3 Fluktuasi Hasil Uji Limbah Cair RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo

Aktivitas yang terdapat di Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo (RSCM) terdiri dari berbagai macam, dimulai dari pengobatan, perawatan, diagnosa pasien, kunjungan, dan lainnya. Dari aktivitas tersebut dihasilkan limbah, salah satunya adalah limbah cair. Setiap bulannya pihak RSCM melakukan pengecekan limbah cair rutin kepada instansi terkait. Instansi yang biasa mengecek limbah cair tersebut adalah Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pemberantasan Penyakit Menular Jakarta, baku mutu yang digunakan sesuai dengan MenLH No. 58 Tahun 1995, dan Laboratorium Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta, baku mutu yang digunakan sesuai dengan Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta No. 122 Tahun 2005.

Berikut merupakan data fluktuasi beberapa parameter limbah cair RSCM pada IPAL 1, yang menunjukkan kadar konsentrasinya sebelum dan sesudah pengolahan biologis, menggunakan Activated Sludge pada bulan Juni–September 2011.

Tabel 2.8 Parameter Uji Limbah Cair RSCM Periode Juni–September Tahun 2011 Pada IPAL 1

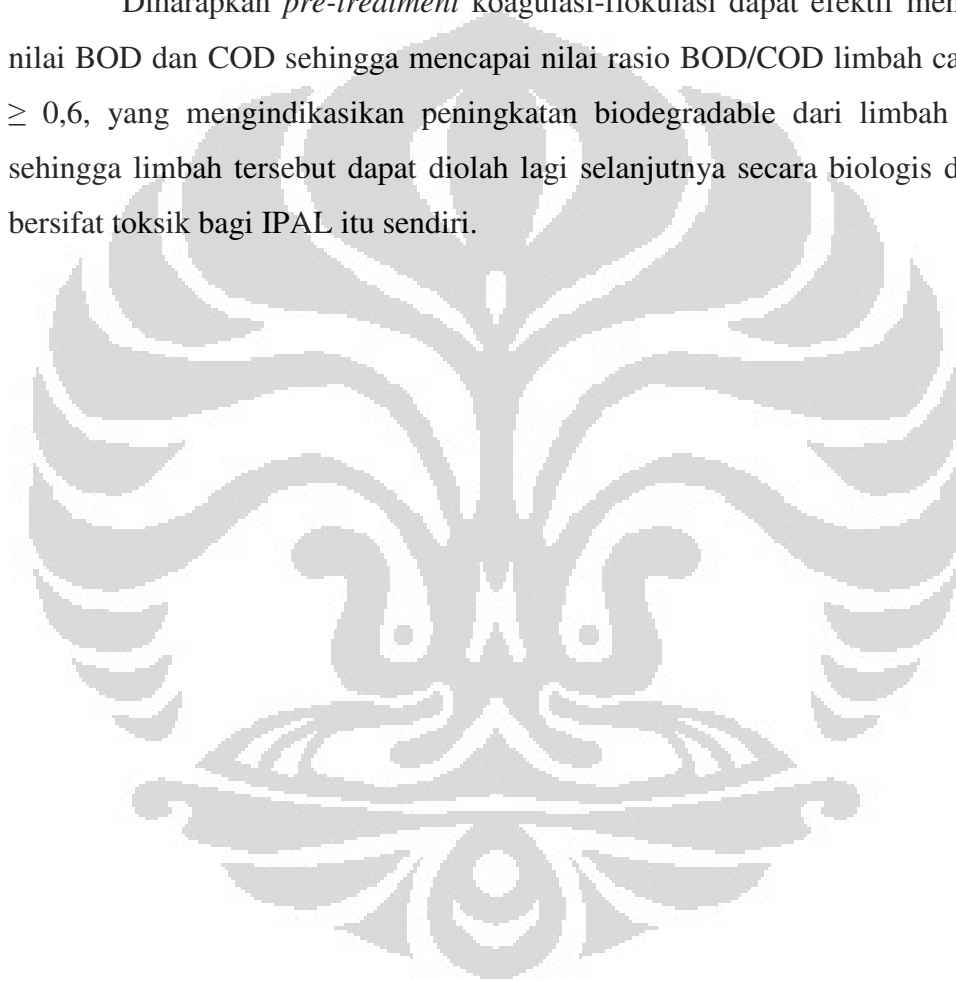
No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Juni 2011		Juli 2011		Agustus 2011		September 2011	
				Hasil Uji		Hasil Uji		Hasil Uji		Hasil Uji	
				Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
1	pH		6-9	7,2	8	6,5	7,78	6,83	7,65	7,1	7,9
2	KMnO ₄	mg/L	85	145,26	9,21	-	-	-	-	80,57	9,67
3	Zat Padat Tersuspensi	mg/L	50	100	6	-	-	-	-	92	1
4	TSS	mg/L	30	-	-	25,5	21	42	10	-	-
5	Ammonia	mg/L	10	15,32	0,32	-	-	-	-	10,68	0,06
6	Ammonia bebas	mg/L	0,1	-	-	0,0501	<0,039	0,066	<0,039	-	-
7	Minyak dan Lemak	mg/L	10	< 1, 13	<1,13	-	-	-	-	<1,13	<1,13
8	Senyawa Aktif Bitu Etilen	mg/L	2	0,04	0,002	-	-	-	-	0,17	<0,03
9	COD	mg/L	80	188,63	<40	152	15,2	320	16	132,68	<40
10	BOD	mg/L	50	83,8	3,92	76	2,6	150	3,8	52,5	7,5
11	Phosfat	mg/L		0,77	0,98	1,2533	1,1937	1,9361	1,2156	1,47	2,13

Sumber : Laporan Hasil Uji RSCM

2.7 HIPOTESIS PENELITIAN

Berdasarkan teori dan penelitian sebelumnya, nilai BOD dan COD dari suatu limbah dapat direduksi dengan perlakuan koagulasi-flokulasi. Perlakuan koagulasi-flokulasi akan digunakan sebagai *pre-treatment* untuk limbah cair medis RSCM. Pada penelitian ini akan dihasilkan nilai rasio BOD/COD sebelum dan sesudah dilakukan *pre-treatment*, sehingga dapat diketahui nilai removal BOD dan COD limbah cair medis.

Diharapkan *pre-treatment* koagulasi-flokulasi dapat efektif menurunkan nilai BOD dan COD sehingga mencapai nilai rasio BOD/COD limbah cair medis $\geq 0,6$, yang mengindikasikan peningkatan biodegradable dari limbah tersebut sehingga limbah tersebut dapat diolah lagi selanjutnya secara biologis dan tidak bersifat toksik bagi IPAL itu sendiri.



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Metode adalah suatu kerangka kerja untuk melakukan suatu tindakan, atau suatu kerangka berpikir menyusun gagasan, yang beraturan, berarah dan berkonteks, yang paut (relevan) dengan maksud dan tujuan. Penelitian adalah suatu kegiatan mengkaji (*research*) secara teliti dan teratur dalam suatu bidang ilmu menurut kaidah tertentu (Tejoyuwono, 2006). Sehingga metode penelitian adalah suatu kerangka berpikir dalam kegiatan mengkaji secara teliti dan teratur, yang berpaut pada maksud dan tujuan yang ingin dicapai.

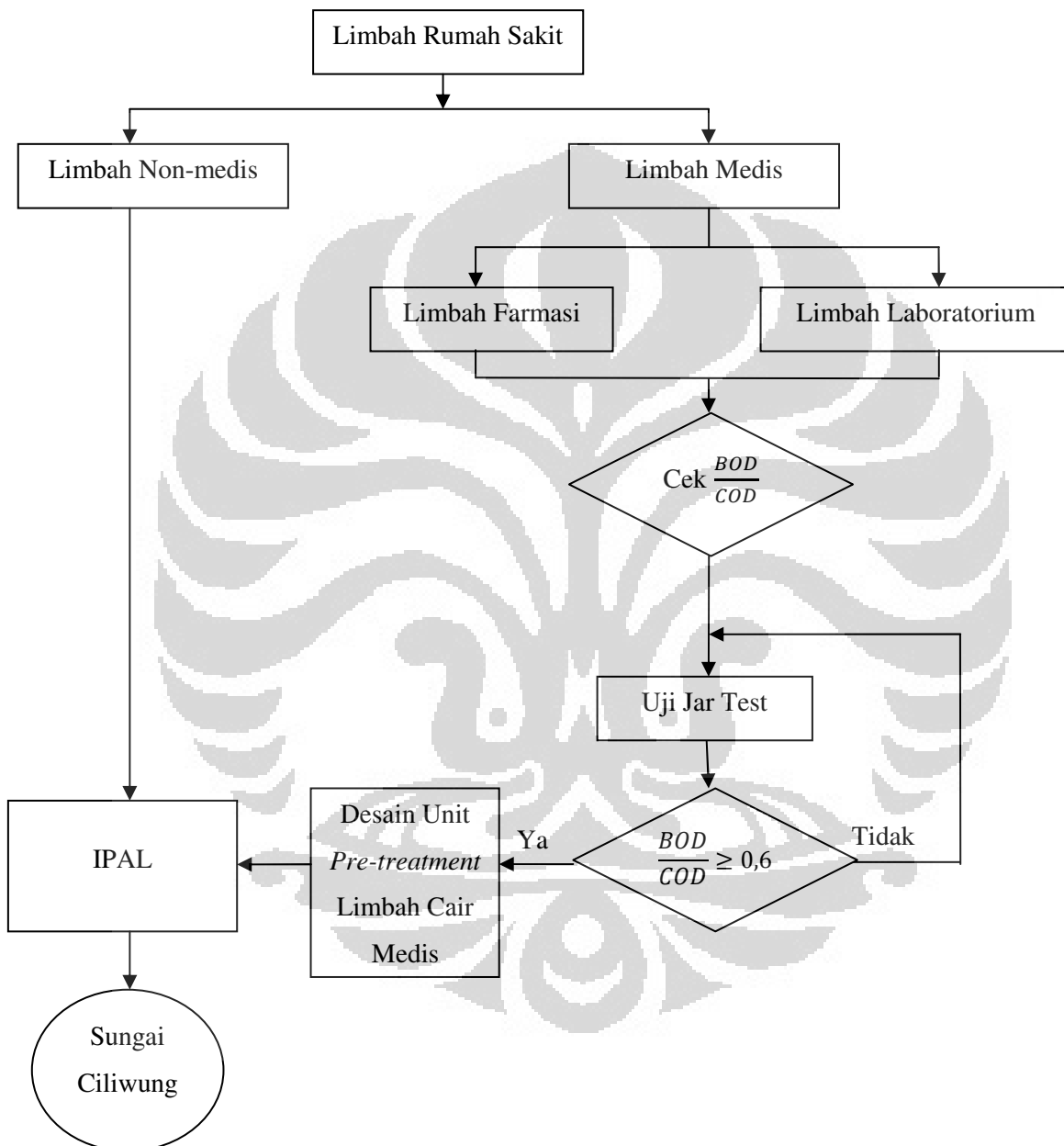
3.1 KERANGKA PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas dari *pre-treatment* koagulasi-flokulasi limbah cair medis, yang berasal dari ruang farmasi dan laboratorium patologi dengan studi kasus RSCM. Persiapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan menetapkan waktu penelitian, menyiapkan bahan baku, koagulan, dan peralatan koagulasi-flokulasi yang akan digunakan. Kemudian dilakukan prosedur penelitian, penelitian dilakukan terhadap sampel limbah cair medis yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik limbah cair medis tersebut, kemudian limbah diolah dengan *pre-treatment* koagulasi-flokulasi sehingga diketahui dosis optimal koagulan yang digunakan dan batas toleransi influen bagi limbah cair medis sebelum masuk unit IPAL. Selanjutnya dilakukan pengolahan data terhadap hasil penelitian yang sudah dilakukan guna mengetahui karakteristik limbah cair medis, keefektivan dari *pre-treatment* tersebut terhadap beberapa parameter, yakni BOD, COD, pH dan temperatur, dan juga dosis optimal dari koagulan yang digunakan.

Dari rasio perbandingan BOD terhadap COD dapat diketahui kemungkinan kandungan material toksik dalam limbah medis cair tersebut. Pengurangan nilai COD yang terkandung dalam limbah, diharapkan dapat mereduksi material toksik yang terdapat didalamnya. Limbah dikatakan toksik apabila rasio BOD/COD < 0,1, sedangkan zat organik lebih mudah terurai secara

mikrobiologis apabila mempunyai rasio BOD/COD mendekati 1 (Samudro & Mangkoedihardjo, 2010).

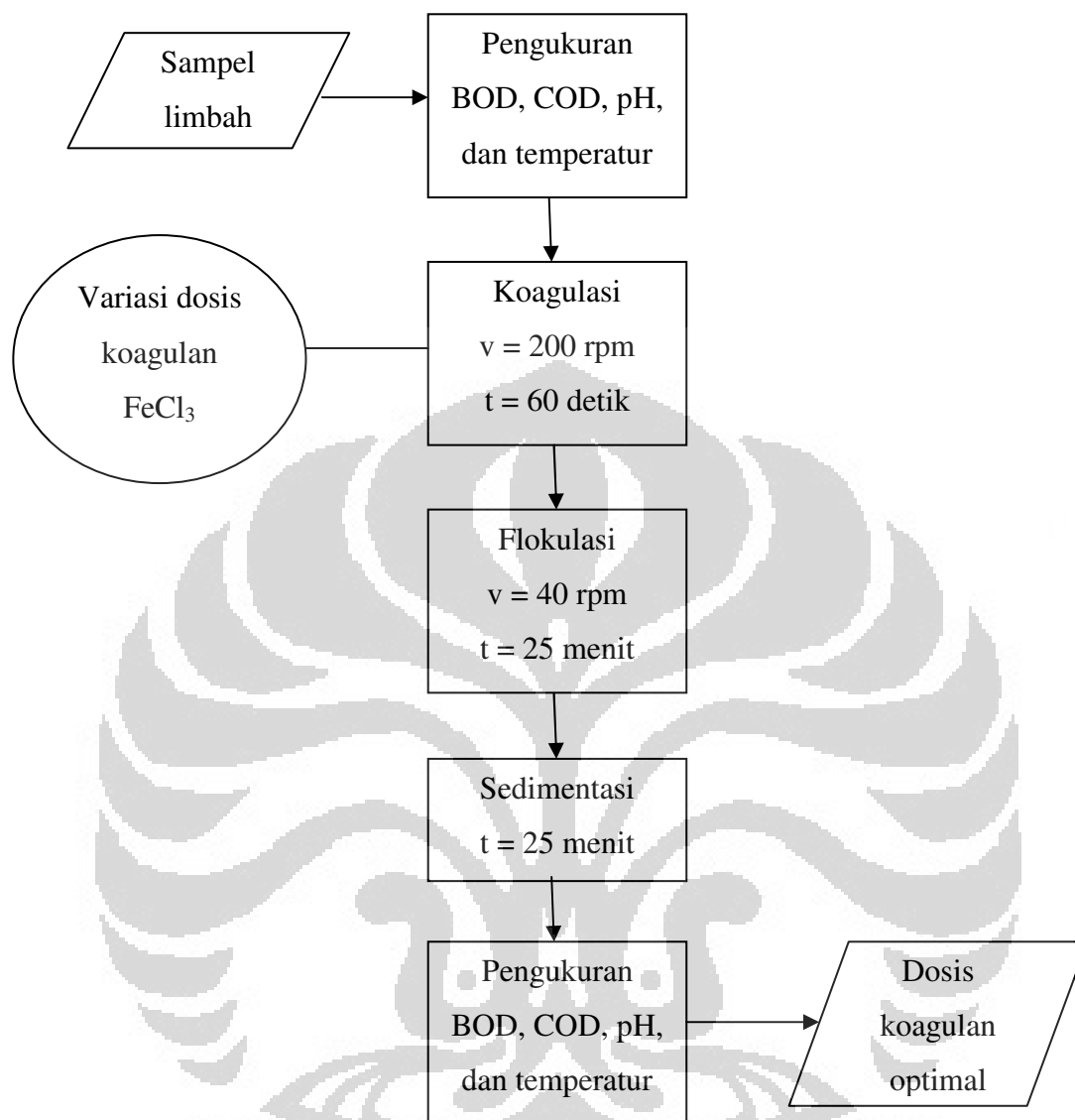
Terdapat dua diagram alir, yakni diagram alir penelitian dan diagram alir untuk proses jartest. Berikut adalah diagram alir penelitian yang akan dilakukan :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Berikut adalah diagram alir percobaan jar test yang akan dilakukan :



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

3.2 WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan jangka waktu antara 13 Februari 2012 s.d. 31 Maret 2012, yang terdiri dari pengambilan sampel dan percobaan sampel menggunakan metode jar test. Data yang dihasilkan dan digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Penelitian terhadap data primer akan dilakukan di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat.

Tabel 3.1 Tabel Waktu Pelaksanaan Penelitian

No	Nama Kegiatan	2011												2012																							
		Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Penyusunan Proposal																																				
2	Perizinan Tempat Penelitian																																				
3	Pengumpulan Data Sekunder																																				
4	Sidang Seminar																																				
5	Survey Lokasi Penelitian																																				
6	Perhitungan Debit Limbah Medis Cair																																				
7	Percobaan Penelitian																																				
8	Pengolahan Data Primer																																				
9	Analisis Data																																				
10	Penyusunan Laporan Penelitian																																				
11	Sidang Skripsi																																				
12	Revisi Hasil Sidang																																				

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

3.3 BAHAN DAN ALAT

3.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

- *Ferrie Chlorida* (FeCl_3) atau yang biasa disebut tawas. Dosis FeCl_3 yang digunakan berbeda-beda, yakni 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, dan 350 mg.
- Air suling
- Sampel limbah medis yang dihasilkan dari ruang produksi farmasi dan laboratorium patologi RSCM.

3.3.2 Alat

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Alat *Jar Test*
- 5 buah *beaker glass* 1000 mL
- Pipet 1 mL, 10mL, 25 mL, dan 50 mL
- pH meter
- *Thermometer*
- *Stopwatch*

3.4 RANCANGAN PENELITIAN

3.4.1 Data Penelitian

Data primer yang digunakan adalah bahan baku atau sampel limbah cair yang bersumber dari beberapa ruangan, diantaranya ruang farmasi dan laboratorium patologi, dianggap dapat mewakili limbah medis cair yang terdapat di RSCM dalam rentang waktu tertentu. Data sekunder yang digunakan berasal dari pengecekan rutin yang dilakukan oleh pihak RSCM terhadap karakteristik limbah cair yang dihasilkan.

Tabel 3.2 Tabel Data Penelitian

No	Data	Satuan	Jenis Data	Sumber Data	Periode Pengambilan Data	Ket.
1	Debit limbah medis cair	m ³	Primer dan Sekunder	Observasi dan Wawancara	Februari 2012	
2	BOD	mg/L	Primer	Eksperimen	Maret 2012	
3	COD	mg/L	Primer	Eksperimen	Maret 2012	
4	pH	-	Primer	Eksperimen	Maret 2012	
5	Temperatur	° C	Primer	Eksperimen	Maret 2012	

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

3.4.2 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel limbah medis cair RSCM dilakukan dalam kurun waktu satu hari pada pukul 09.00–16.00 pada tanggal 1 & 13 Maret dan 11 April tahun 2012. Sampel dikumpulkan menggunakan wadah (jerigen air). Volume sampel yang diambil untuk penelitian sebanyak ± 5 liter untuk sekali tahap percobaan jar test.

3.4.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel tetap atau terikat, variabel kontrol, dan variabel bebas.

Variabel bebas : dosis koagulan

Variabel kontrol : volume sampel, jenis koagulan, kecepatan dan waktu tinggal koagulasi, kecepatan dan waktu tinggal flokulasi, dan waktu tinggal pengendapan

Variabel terikat : pH, temperatur, nilai BOD, nilai COD, dan dosis optimal koagulan

3.4.4 Percobaan Penelitian

Dalam percobaan penelitian berikut akan membahas mengenai efektivitas *pre-treatment* terhadap limbah cair medis RSCM. Sampel limbah cair medis yang telah diambil kemudian diolah dengan *pre-treatment* koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan *Ferrie Chlorida* (FeCl₃). *Pre-treatment* dilakukan dengan

variabel dosis FeCl_3 yang berbeda-beda, yakni 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, dan 350 mg. Prosedur koagulasi-flokulasi adalah sebagai berikut :

- Sampel data primer dimasukkan ke dalam masing-masing 5 *beaker glass* dengan volume 500 mL
- Sebelumnya diukur dan dicatat nilai BOD, COD, pH dan temperatur dari sampel
- Koagulan FeCl_3 dimasukkan ke dalam *beaker glass* dengan masing-masing dosis, yakni 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, dan 350 mg.
- Koagulasi dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan *Jar Test* dengan kecepatan 200 rpm selama 60 detik
- Flokulasi dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan *Jar Test* dengan pengadukan lambat selama 20 menit dengan kecepatan 40 rpm
- Bentuk dan ukuran flok yang dihasilkan dicatat dan diamati
- Pengendapan dilakukan selama 20 menit
- BOD, COD, temperatur dan pH diukur dan dicatat setelah pengendapan

3.4.5 Metode Analisis Data

Metode yang digunakan dalam pengecekan hasil uji pengolahan limbah adalah :

Tabel 3.3 Metode Pengecekan Hasil Uji

Parameter	Satuan	Metode
BOD	mg/L	SNI 6989.72:2009
COD	mg/L	SNI 6989.73:2009
pH	-	SNI 06-6989.11.2004
Temperatur	°C	SNI 6989.59:2008

Sumber : Banan Standardisasi Nasional, 2011

Perbandingan dilakukan terhadap parameter BOD, COD, pH, dan temperatur sebelum dan sesudah mengalami *pre-treatment*. Dari hasil penelitian juga diketahui dosis optimal dari koagulan FeCl_3 untuk mengolah limbah cair medis RSCM. Untuk nilai parameter BOD dan COD dapat menggunakan :

$$\% \text{ Removal} = \frac{(\text{Nilai Parameter Influent} - \text{Nilai Parameter Effluent})}{\text{Nilai Parameter Influent}} \times 100\%$$

$$\% \text{ BOD Removal} = \frac{(\text{BOD Influent} - \text{BOD Effluent})}{\text{BOD Influent}} \times 100\%$$

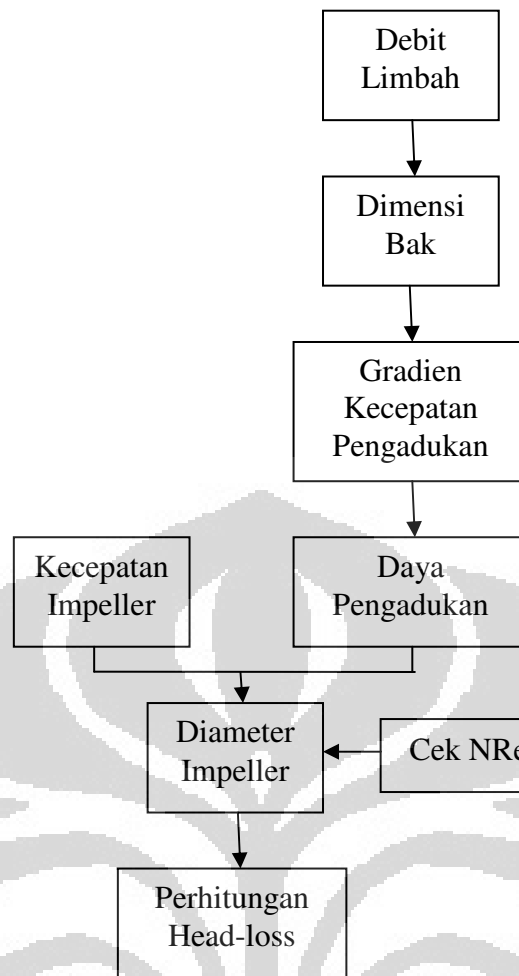
$$\% \text{ COD Removal} = \frac{(\text{COD Influent} - \text{COD Effluent})}{\text{COD Influent}} \times 100\%$$

Sedangkan untuk pH dan temperatur dapat dibandingkan antara influen dan effluen *pre-treatment* koagulasi-flokulasi. Dari persentase removal diatas dapat ditentukan dosis koagulan FeCl_3 yang paling optimal untuk mengolah limbah medis cair RSCM.

Hasil perhitungan diatas untuk mengetahui rasio BOD/COD yang dihasilkan sebelum dan sesudah pengolahan koagulasi-flokulasi. Rasio BOD/COD mengindikasikan material toksik dalam limbah medis cair RSCM yang dapat mempengaruhi efektivitas kerja IPAL *Activated Sludge*.

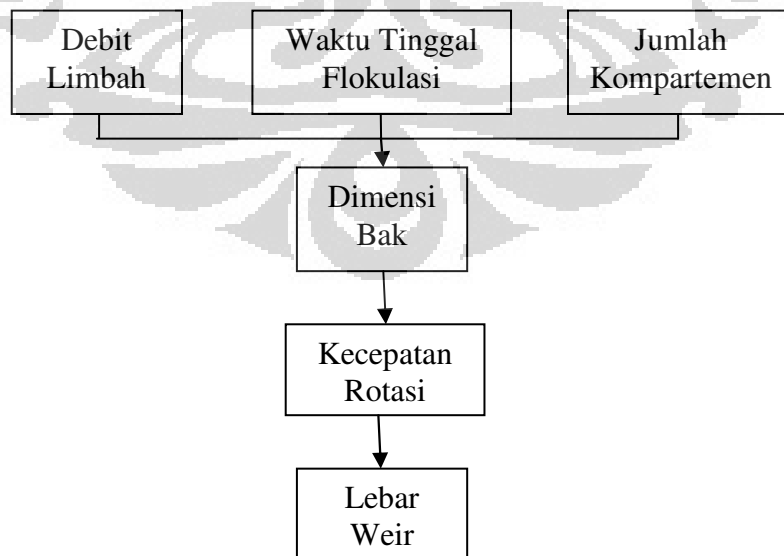
3.4.6 Perhitungan Unit Koagulasi–Flokulasi

Setelah diketahui dosis optimal koagulan dan volume limbah medis yang dihasilkan RSCM kemudian dibuat desain unit *pre-treatment* koagulasi flokulasi. Berdasarkan Qasim (2000), berikut merupakan diagram alir perhitungan desain unit koagulasi flokulasi :



Gambar 3.3 Diagram Alir Desain Unit Koagulasi

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012



Gambar 0.4 Diagram Alir Desain Unit Flokulasi

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

BAB 4

PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

4.1 DEBIT LIMBAH CAIR MEDIS

Limbah cair medis yang digunakan dalam penelitian adalah limbah cair hasil penggunaan bahan kimia yang berasal dari farmasi dan laboratorium, juga belum tercampur dengan limbah lain atau mengalami pengenceran. Dalam penelitian ini digunakan limbah yang berasal dari unit produksi farmasi dan laboratorium hispatologi–patologi anatomi.

Perhitungan debit limbah cair medis yang dihasilkan RSCM menggunakan beberapa metode, yaitu secara langsung, yaitu limbah cair medis ditampung kedalam jerigen dalam waktu tertentu, wawancara, dan dengan data sekunder yang dimiliki oleh pihak rumah sakit mengenai penggunaan bahan kimia yang akan menjadi limbah cair.

Kondisi eksisting debit dan pembuangan limbah cair medis di RSCM adalah sebagai berikut :

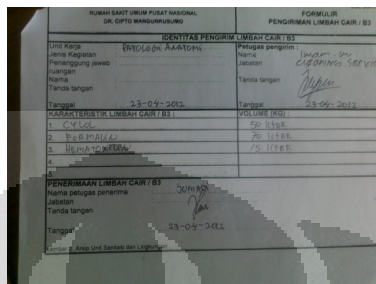
a. Limbah Farmasi

Limbah cair medis yang dihasilkan dari farmasi memiliki kapasitas \pm 20 liter/hari. Limbah berasal dari unit produksi. Unit produksi merupakan unit yang kegiatan sehari-harinya melakukan proses pembuatan obat, pencampuran obat, pembuatan antiseptik, pembuatan obat merah, dan lainnya yang nantinya akan digunakan di lingkungan RSCM. Pada saat penelitian berlangsung, limbah yang dihasilkan oleh unit produksi farmasi masih dibuang langsung kedalam saluran wastafel, tercampur dengan limbah lain, dan akhirnya diolah oleh IPAL 1.

b. Limbah Laboratorium Histopatologi–Patologi Anatomi

Limbah cair medis yang dihasilkan terdiri dari beberapa bahan kimia, antar lain adalah formalin (5–10 liter/hari), xylol (28,5 liter/minggu), ethanol (49 liter/minggu), dan larutan hematoxylin (<50 ml/hari). Pada saat penelitian, pihak rumah sakit telah melakukan tindakan pemisahan limbah, yakni limbah cair medis yang dihasilkan ditampung ke dalam sebuah wadah jerigen dan setiap harinya jerigen tersebut diambil oleh pihak Sanitasi dan

limbah disimpan ke dalam gudang limbah B3 sebelum nantinya akan diolah ke *pre-treatment*. Penyerahan limbah ke pihak Sanitasi disertakan formulir (Gambar 4.1) agar distribusi pembuangan limbah lebih terkontrol, yang nantinya limbah tersebut akan di olah ke *pre-treatment*.



The image shows a form titled 'FORMULIR PENGIRIMAN LIMBAH CAIR (B3)' from RSCM. It is divided into three main sections: 'IDENTITAS PENGIRIM', 'IDENTITAS PENERIMA', and 'DAFTAR LIMBAH CAIR (B3)'. The 'IDENTITAS PENGIRIM' section includes fields for 'Instansi', 'Nama Fasilitas', 'Pembuangan awal', 'Ruang', 'Nama', and 'Tanda tangan', with handwritten entries for 'RSCM', 'RSCM', 'RSCM', 'RSCM', and 'RSCM'. The 'IDENTITAS PENERIMA' section includes 'Nama', 'Alamat', and 'Tanda tangan', with handwritten entries for 'RSCM', 'RSCM', and 'RSCM'. The 'DAFTAR LIMBAH CAIR (B3)' section has a table with columns for 'No', 'Jenis Limbah', and 'Volume', with handwritten entries for '1. Xylool', '2. Alkohol', and '3. Eosin'. The 'PENERIMAAN LIMBAH CAIR (B3)' section includes 'Nama penerima', 'Jabatan', 'Tanda tangan', and 'Tanggal', with handwritten entries for 'RSCM', 'RSCM', 'RSCM', and 'RSCM'.

Gambar 4.1 Formulir Limbah Cair Medis RSCM

Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2012

Limbah hematoxylin karena jumlahnya yang sedikit, limbah tersebut tidak ditampung tetapi dibuang langsung ke saluran, sebelumnya dilakukan pengenceran sebanyak 20 kali

c. Laboratorium Imunologi

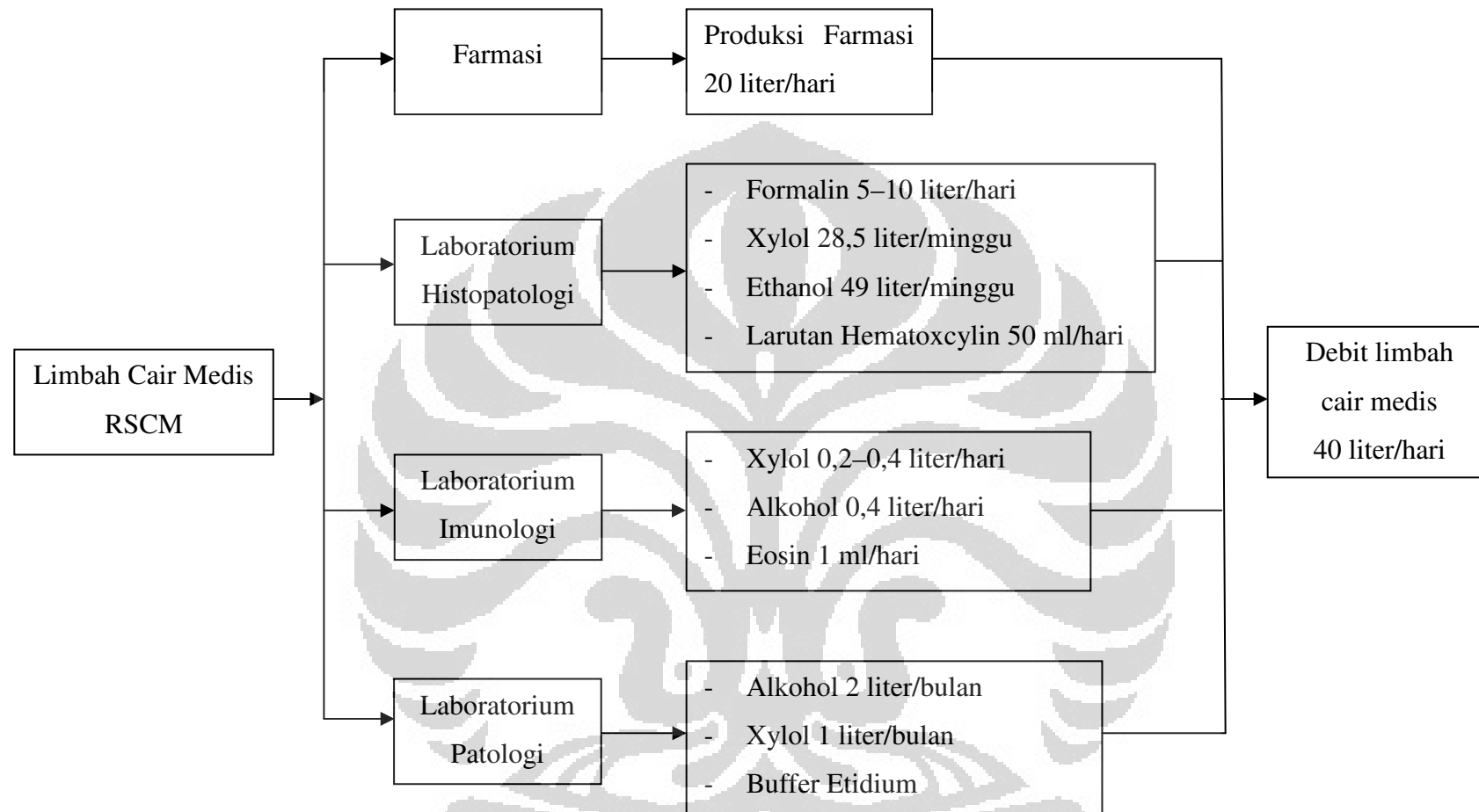
Limbah cair medis yang terdapat di laboratorium ini juga terdiri dari beberapa bahan kimia, yaitu xylool (0,2–0,4 liter/hari), alkohol (0,4 liter/hari), dan eosin (1 ml/hari). Untuk limbah alkohol dan eosin langsung dibuang ke wastafel dengan air mengalir selama ± 5 menit, sedangkan xylool ditampung di sebuah wadah, dikumpulkan ke gudang B3, dan nantinya akan diolah unit *pre-treatment*.

- d. Laboratorium Patologi Eksperimental dan Laboratorium Patologi Molekuler
- Limbah yang dihasilkan masih dalam jumlah yang sangat sedikit, yakni alkohol (2 liter/bulan), xylool (1 liter/bulan), dan buffer etidium bromida. Sehingga limbah tersebut langsung dibuang ke wastafel dengan air mengalir selama 5 menit.

Berdasarkan BPLHD Jabar, 2009, biasanya dari seluruh limbah yang dihasilkan rumah sakit, 10–15% nya merupakan limbah medis. Sedangkan dari keterangan diatas, limbah cair medis yang dihasilkan oleh RSCM adalah ± 40

liter/hari (dapat dilihat juga Gambar 4.2). Apabila dibandingkan dengan debit inlet IPAL 1 ($\pm 400 \text{ m}^3/\text{hari}$), limbah cair medis yang dihasilkan RSCM memiliki debit yang kecil. Debit limbah cair yang dihasilkan sebesar 0,01% dari total inlet IPAL 1. Kecilnya nilai debit yang dihasilkan karena perhitungan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah yang dihasilkan dari farmasi dan laboratorium patologi. Terdapat sumber lain yang dapat menghasilkan limbah cair medis adalah dari ruang inap pasien, radiologi, dan perawatan.

Debit yang dihasilkan limbah cair medis terdapat dalam jumlah yang sedikit, tetapi limbah tersebut adalah limbah kimia yang memiliki kandungan yang berbahaya (toksik) dan bersifat infeksius (Said, 1999). Limbah cair medis tergolong ke dalam limbah B3 karena dapat berbahaya bagi lingkungan dan mengandung bahan kimia, patogen, limbah farmasi, logam berat, dan elemen radioaktif. Apabila limbah cair medis dibuang setiap harinya ke dalam IPAL untuk diolah, limbah tersebut dapat menambah beban IPAL, karena memiliki dampak dapat mencemarkan dan atau merusak (PP No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan dan Berbahaya).

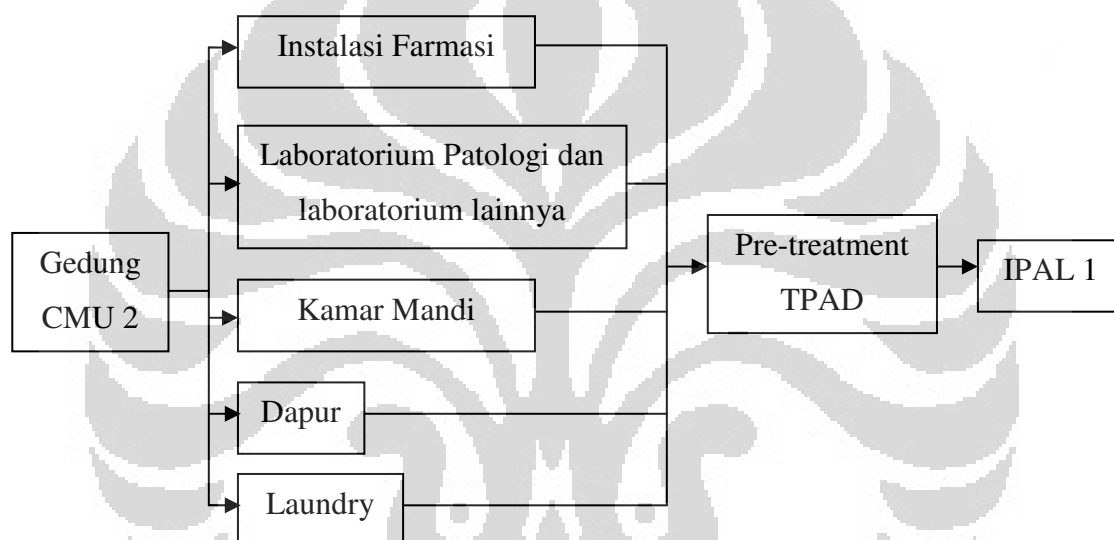


Gambar 4.2 Debit Pengeluaran Limbah Cair Medis RSCM

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

4.2 PRE-TREATMENT LIMBAH CAIR EKSISTING RSCM

Pada saat penelitian dilakukan, RSCM telah memiliki unit *pre-treatment*. Unit *pre-treatment* akan digunakan untuk mengolah limbah yang dihasilkan Gedung CMU (*Centre Medical Unit*) 2. Gedung CMU 2 merupakan gedung yang terdiri dari lima lantai, akan diisi oleh unit farmasi, laboratorium histopatologi–patologi anatomi, dan laboratorium lainnya. Limbah cair yang dihasilkan gedung CMU 2, baik limbah medis dari farmasi dan laboratorium, maupun limbah non medis dari kamar mandi, dapur, dan lainnya akan masuk ke dalam unit *pre-treatment* untuk diolah (Gambar 4.2).



Gambar 4.3 Skema Rencana Aliran Limbah Cair Gedung CMU 2

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Unit *pre-treatment* yang digunakan memiliki kapasitas 3000 L/hari dan menggunakan metode TPAD (*Two Phase Aerobic Digester*). Pada tahapan pertama, menggunakan *system* anaerobic tersuspensi, yakni dilakukan injeksi kimia asam (HCL) dan suhu dibuat menjadi 30–35⁰ C. Tahapan ini dilengkapi dengan :

- a. *Agiator*, berfungsi sebagai pengadukan untuk menciptakan kondisi yang tersuspensi diseluruh bagian tangki.

- b. *Dosing pump*, untuk menginjeksi senyawa asam (HCL) dan pH monitor/controller, untuk mengatur pH agar sesuai dengan yang diinginkan, yaitu mencapai $< 6,0$.
- c. *Water heater*, untuk membuat suhu mencapai kondisi mesophilic dengan rentang $30-35^{\circ}\text{C}$

Pada tahapan kedua, digunakan *system attached bio-media culture* atau sistem pertumbuhan bakteri secara melekat. Tahapan ini dilengkapi dengan :

- a. Biomedia kontak, sebagai tempat tumbuhnya bakteri.
- b. *Dosing pump*, digunakan untuk injeksi senyawa basa (NaOH) dan pH monitor/controller, untuk mengatur pH agar sesuai dengan yang diinginkan, yaitu mencapai $> 8,0$.
- c. *Sludge recycle pump*, untuk mengembalikan lumpur aktif yang ke dalam sistem tahapan pertama.

Berikut merupakan dasar perencanaan kualitas dari unit *pre-treatment*, yaitu :

Tabel 4.1 Desain Kualitas *Pre-treatment* RSCM

Parameter	Air Baku	Air Olahan
BOD (mg/L)	max. 1500	30
COD (mg/L)	max. 3000	80
SS (mg/L)	max. 200	30
pH	6,0-9,0	6,0-9,0
Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	25-30	25-30

Sumber : Manual Book *Pre-treatment* RSCM, 2012



Gambar 4.4 *Pre-treatment* Limbah Cair RSCM Eksisting

Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2012

Limbah cair yang telah diolah oleh unit *pre-treatment* akan dialirkan ke dalam inlet IPAL 1, sehingga limbah tersebut akan mengalami pengolahan sekali lagi secara biologis.

Saat penelitian selesai dilakukan, unit *pre-treatment* belum beroperasi. Hal ini dikarenakan, belum semua laboratorium dipindahkan ke Gedung CMU 2 dan belum dilakukannya serah terima oleh pihak RSCM. Limbah cair medis yang dihasilkan oleh laboratorium masih dikumpulkan ke dalam wadah jerigen, kemudian akan diangkut setiap harinya oleh pihak Sanitasi dan akan disimpan di gudang limbah B3 yang terdapat di gedung IPAL.

4.3 KARAKTERISTIK LIMBAH CAIR MEDIS

Pengecekan terhadap beberapa parameter dilakukan terhadap limbah cair yang dihasilkan dari unit produksi farmasi dan laboratorium patologi yang digunakan sebagai sampel limbah cair medis dalam penelitian ini. Dari pemeriksaan sampel tersebut menghasilkan data berupa karakteristik sampel limbah tersebut. Karakteristik limbah cair medis RSCM adalah sebagai berikut :

4.3.1 Karakteristik Fisik Limbah Cair

4.3.1.1 Temperatur

Dari tiga kali pemeriksaan sampel limbah cair medis, temperatur yang dimiliki tidak berbeda jauh, yakni :

Tabel 4.2 Temperatur Limbah Cair Medis RSCM

No	Tanggal Pemeriksaan	Temperatur (°C)
1	02-Maret-2012	30
2	14-Maret-2012	29,5
3	11-April-2012	30

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Dari tabel diatas, nilai temperatur rata-rata limbah cair medis yang dihasilkan oleh RSCM adalah 29,83 °C. Berdasarkan KepMenLH No. 58 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Rumah Sakit menyatakan bahwa nilai temperatur maksimal dari limbah cair adalah 30 °C. Apabila dibandingkan

dengan hasil pengukuran, maka temperatur yang dihasilkan oleh limbah cair medis RSCM masih sesuai baku mutu.

Menurut Metcalf & Eddy, 2003, suhu merupakan salah satu faktor penting dalam pengolahan limbah karena mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam limbah tersebut. Setiap mikroorganisme memiliki temperatur optimum untuk pertumbuhan. Suhu 30°C merupakan habitat yang tepat untuk tempat tinggal kelompok bakteri mesofilik, yaitu bakteri yang hidup pada suhu 25–40 °C. Apabila suhu dalam keadaan naik (panas) laju reaksi terjadi lebih cepat, karena partikel yang terdapat di dalamnya menjadi lebih aktif (Palupi, 2009).

Temperatur limbah cair lebih tinggi dibanding dengan temperatur air bersih (Reynolds & Richards, 1996). Hal ini disebabkan terdapatnya aktivitas mikroorganisme di dalamnya, terjadi proses pembusukan atau menguraikan bahan organik yang terdapat di dalam limbah.

4.3.1.2 Warna

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari dua tempat yang berbeda, yakni limbah yang berasal dari unit produksi farmasi dan laboratorium patologi dari gudang B3 IPAL yang sebelumnya telah ditampung dan dikumpulkan. Limbah cair yang dihasilkan oleh farmasi dan laboratorium patologi memiliki warna yang berbeda, namun pada saat pelaksanaan penelitian kedua limbah tersebut dicampur.

Setiap pengambilan sampel, limbah yang dihasilkan farmasi menghasilkan warna yang berbeda, sedangkan limbah dari laboratorium patologi memiliki warna yang hampir sama. Limbah dari laboratorium patologi memiliki dua buah lapisan. Bagian bawah lapisan berwarna agak kecoklatan, sedangkan bagian atas berwarna putih. Bagian atas lapisan tersebut adalah xylool yang memiliki massa jenis yang lebih ringan sehingga mengapung diatas dan juga memiliki kandungan minyak.

Pada hari pertama, limbah yang dihasilkan farmasi berwarna merah muda, pada hari kedua berwarna jingga kecoklatan, dan pada hari ketiga limbah tersebut berwarna coklat muda. Hal ini mengindikasikan terdapat berbagai macam

aktivitas di unit produksi farmasi, sehingga limbah yang dihasilkan memiliki warna yang berbeda.



Gambar 4.5 Limbah Cair Medis Hari Pertama dan Hari Kedua

Sumber : Dokumentasi Peneliti, 2012

Warna dapat memberikan indikasi kualitas suatu limbah, seperti sifat limbah (toksik), kimia, septik (kandungan bakteri/kimia). Apabila limbah berwarna coklat muda, menandakan limbah telah tersimpan \pm 6 jam. Apabila limbah berwarna abu-abu tua, mengindikasikan bahwa limbah sedang terjadi proses pembusukan. Apabila limbah berwarna hitam, limbah tersebut telah membusuk oleh bakteri anaerob dan kemungkinan dalam kondisi septik (Reynolds & Richards, 1996). Semakin pekat warna limbah, mengindikasikan bahwa limbah tersebut memiliki nilai kekeruhan yang besar. Kekeruhan dapat diukur menggunakan efek cahaya, untuk mengetahui kandungan dalam limbah tersebut, baik organik maupun anorganik.

Limbah cair medis yang digunakan dalam penelitian ini diambil sehari sebelum dilakukannya percobaan penelitian, kemudian limbah disimpan ke dalam lemari pendingin yang terdapat di Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan FTUI. Hal ini dilakukan untuk menjaga kualitas limbah. Limbah cair medis disimpan dalam lemari pendingin selama 15 jam (17.00–08.00). Limbah setelah disimpan lebih dari 6 jam dan warna yang dihasilkan adalah coklat muda. Kepekatan warna pada limbah mengindikasikan bahwa limbah mengandung bahan anorganik dan organik yang tinggi.

4.3.1.3 Bau

Bau yang dihasilkan oleh limbah farmasi berbeda dengan bau yang dihasilkan oleh laboratorium patologi. Limbah yang dihasilkan oleh patologi memiliki bau yang menyengat karena terdapatnya kandungan formalin dan xylol dalam jumlah yang cukup banyak. Limbah yang dihasilkan oleh unit produksi farmasi memiliki bau yang berbeda dalam tiga kali pengambilan sampel. Pada hari pertama pengambilan sampel, limbah memiliki bau aromatik, kemungkinan limbah tersebut dihasilkan dari proses pembuatan obat. Pada hari kedua, limbah yang dihasilkan memiliki bau yang tidak begitu terdeteksi, namun ketika dicampur dengan limbah patologi, limbah farmasi tersebut dapat mengurangi tingkatan bau yang dihasilkan oleh limbah patologi. Pada hari ketiga, limbah yang dihasilkan tidak memiliki bau.

Bau yang terdapat dalam limbah dapat dihasilkan dari proses kimia maupun biologi dalam limbah, reaksi tersebut memecah kandungan organik yang terdapat dalam limbah menjadi komponen yang lebih sederhana. Bau yang dapat tercium oleh indra penciuman manusia tergantung kadar gas dalam air limbah. Parameter bau memiliki sifat yang subjektif, karena sensitivitas penciuman manusia berbeda-beda.

Bau yang dihasilkan oleh limbah cair medis RSCM didominasi oleh bau menyengat, yang berasal dari formalin. Formalin menghasilkan gas formaldehide yang bersifat toksik. Paparan formalin dapat memberikan pengaruh negatif, meskipun dalam jangka waktu yang pendek, yaitu iritasi saluran pernapasan, saluran pencernaan. Paparan dalam jangka panjang dapat mengakibatkan kerusakan sel hepar dan saluran pencernaan dan dapat menyebabkan pertumbuhan kanker (Troco et al., 1998).

4.3.2 Karakteristik Kimia Limbah Cair Medis

4.3.2.1 pH

pH merupakan indikator yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman air dan air limbah. Nilai pH limbah cair medis RSCM adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 pH Limbah Cair Medis RSCM

No	Tanggal Pemeriksaan	pH
1	02-Maret-2012	5,9
2	14-Maret-2012	6,06
3	11-April-2012	6,17

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Dari tabel diatas, nilai pH rata-rata yang dimiliki sampel limbah cair medis setelah dicampur adalah 6,04. Sebelumnya, peneliti melakukan pengukuran nilai pH limbah yang dihasilkan oleh laboratorium patologi anatomi. Xylol memiliki nilai pH 6, formalin memiliki pH 7,5, dan alkohol memiliki pH 4,5. Nilai pH, baik yang telah dicampur maupun tidak dicampur memiliki nilai yang mendekati netral. pH sampel mendukung untuk dilakukannya koagulasi, karena pH optimum pengendapan dengan koagulan berada pada kisaran pH mendekati netral sampai asam (Lugosi & Gajari, 2002).

Nilai pH rata-rata limbah cair medis dengan limbah inlet IPAL 1 memiliki perbedaan yang cukup signifikan, pH inlet limbah IPAL 1 adalah 6,9. Kedua nilai pH tersebut masih sesuai dengan ambang batas baku mutu karena menurut KepMenLH No. 58 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Rumah Sakit, nilai pH berada dalam rentang 6–9.

Nilai pH yang dimiliki limbah dapat mendukung untuk tempat hidup bakteri aerob, yang optimal hidup di habitat pada pH 6,5–8,5. Keberadaan bakteri aerob dapat dimanfaatkan untuk mengurai bahan organik yang terdapat dalam limbah tersebut. Akan tetapi limbah cair medis yang menjadi lingkungan hidup bakteri aerob adalah limbah toksik, kesempatan bakteri untuk hidup memiliki kemungkinan yang tidak begitu besar.

Untuk pengolahan limbah limbah cair medis tidak dibutuhkan penambahan bahan pembantu yang berguna untuk menaikkan nilai pH. Nilai pH yang dimiliki limbah cair medis masih termasuk dalam rentang pH untuk kinerja koagulan yang digunakan dalam pengolahan, yakni FeCl_3 yang memiliki rentang pH 4–12 (Reynold & Richards, 1996).

4.3.2.2 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Berikut merupakan nilai BOD dari limbah cair medis RSCM dalam tiga kali pemeriksaan :

Tabel 4.4 BOD Limbah Cair RSCM

No	Tanggal Pemeriksaan	BOD (mg/L)
1	02-Maret-2012	-
2	14-Maret-2012	515,74
3	11-April-2012	193,27

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Pada pengukuran pertama nilai BOD sampel tidak terbaca. Hal ini terjadi karena kandungan oksigen yang terdapat dalam sampel pada hari kelima telah habis. Selain itu, dapat juga terjadi pada saat pembuatan *seeding* untuk sampel, limbah yang digunakan mengandung bahan kimia yang cukup tinggi sehingga bakteri yang terdapat di dalam *seeding* terkontaminasi. Alternatif yang dilakukan agar nilai BOD sampel dapat terbaca pada hari kelima, limbah yang digunakan untuk proses *seeding* diencerkan terlebih dahulu sebanyak 200 kali, sehingga limbah tersebut tidak mengontaminasi bakteri dalam *seeding*.

Berdasarkan tabel diatas, nilai BOD pada pemeriksaan kedua dan ketiga memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan aktivitas yang dilakukan oleh laboratorium patologi dan farmasi. Nilai BOD menunjukkan besarnya kandungan senyawa organik yang dapat terdegradasi secara biologi (Rahayu, 2003). Apabila dibandingkan dengan nilai BOD inlet IPAL 1, yakni memiliki nilai 90,58 mg/L, limbah cair medis memiliki nilai yang lebih besar dapat mencapai dua hingga lima kali lipatnya.

Tingginya nilai BOD yang dihasilkan, mengindikasikan bahwa limbah cair medis memiliki kandungan organik yang tinggi. Tingginya kandungan organik dalam limbah akan meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme dalam mengolah organik. Ketersediaan makanan dalam jumlah yang banyak bagi mikroorganisme, membutuhkan jumlah oksigen yang cukup banyak juga untuk mengoksidasi makanan organik yang terdapat dalam limbah. Apabila hal ini terus berlanjut, maka kandungan oksigen dalam limbah lama-kelamaan dapat berkurang, karena tingginya kadar organik tidak diseimbangi dengan suplai

oksigen yang masuk ke dalam limbah. Hal ini mengakibatkan kekurangan oksigen dalam limbah yang akhirnya akan membunuh bakteri itu sendiri (Henze, 1995).

Tingginya kandungan organik dalam limbah dapat dilihat dari sumber limbah tersebut. Limbah laboratorium patologi mengandung formalin, xylol, alkohol, dan lainnya. Formalin merupakan senyawa organik sederhana dari aldehid atau kelompok alkanal, merupakan sumber *Reactive Oxygen Species* (ROS) dan radikal bebas eksogen. ROS dapat menyebabkan reaksi berantai yang menghasilkan senyawa radikal bebas dalam jumlah besar dan bersifat toksik terhadap hepar dan gastrointestinal (Teng et al., 2001).

4.3.2.3 *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Dari tiga kali pengambilan dan pemeriksaan sampel limbah cair medis RSCM, nilai COD yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 COD Limbah cair Medis RSCM

No	Tanggal Pemeriksaan	COD (mg/L)
1	02-Maret-2012	92800
2	14-Maret-2012	64000
3	11-April-2012	84800

Sumber : Hasil Pengolahan RSCM, 2012

Hasil pemeriksaan pada hari pertama, hari kedua, dan hari ketiga memiliki perbedaan nilai COD yang cukup besar. Perbedaan nilai COD akibat dari berbedanya aktivitas sumber asal limbah tersebut. Berbedanya aktivitas yang dilakukan dapat diindikasikan dari warna dan bau limbah yang dihasilkan.

Dari pemeriksaan limbah cair medis, nilai COD yang dihasilkan sangat tinggi. Apabila dibandingkan dengan inlet IPAL 1, nilai COD adalah 198,33 mg/L, maka nilai COD yang dimiliki limbah cair medis sangatlah besar. Tingginya nilai COD limbah cair medis diakibatkan dari tingginya kandungan bahan organik yang terdapat dalam limbah. Setiap harinya laboratorium patologi menghasilkan limbah yang mengandung senyawa organik, seperti formalin, xylol, dan bahan lainnya. COD memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada BOD dalam

mendegradasi kandungan organik, karena COD menggunakan bahan kimia, sehingga bahan organik tersebut lebih mudah terdegradasi.

Dikarenakan tingginya nilai COD yang terkandung dalam limbah cair medis, dalam pengukurannya dilakukan pengenceran limbah hingga mencapai 500 kali. Hal ini dilakukan karena bila limbah tersebut tidak dilakukan pengenceran, maka limbah tersebut tidak dapat bereaksi jika diberikan indikator yang mengindikasikan nilai COD yang dikandung limbah tersebut.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Suarez et al., 2008, penelitian mengenai *pre-treatment* limbah cair dari rumah sakit menggunakan metode *jar test* terhadap 13 bahan limbah farmasi dan produk perawatan pribadi (*pharmaceutical and personal care products*, PCPs) menghasilkan COD yang terkandung dalam limbah memiliki nilai maksimal 2464 mg/L dan dalam penelitian yang dilakukan oleh Guatam et al., 2006, memiliki nilai COD 1067 mg/L. Limbah yang dihasilkan dalam penelitian tersebut adalah limbah rumah sakit yang berasal dari berbagai macam sumber, seperti laboratorium, ruang operasi, ruang pasien, dan lainnya. Sedangkan limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah yang dihasilkan dari kegiatan medis, seperti laboratorium dan farmasi dan memiliki nilai COD yang sangat besar. Limbah dengan nilai COD besar selain limbah medis, adalah *lechate* yang memiliki nilai COD 55000–60000 mg/L (Samudro & Mangkoediharjo, 2010).

4.3.2.4 Rasio BOD/COD

Dari dua kali pengecekan sampel, nilai rasio BOD/COD yang dihasilkan memiliki nilai 0,008 dan 0,0023. Rasio BOD/COD limbah cair medis RSCM memiliki nilai yang sangat kecil <0,01. Sangat jauh dari target rasio BOD/COD agar limbah tersebut dapat langsung masuk ke dalam pengolahan biologis, yakni dengan nilai rasio $\geq 0,6$. Hal ini disebabkan oleh besarnya nilai COD yang terkandung dalam limbah tersebut.

Menurut Siregar, 2005, limbah yang memiliki rasio BOD/COD yang mendekati nol menunjukkan bahwa air limbah tersebut mengandung substansi yang bersifat toksik. Dari rasio BOD/COD yang dihasilkan mengindikasikan mengandung substansi bersifat toksik.

Wang et al., 2000, menyatakan bahwa tingkatan biodegradasi dari limbah dapat diketahui dari rasio BOD/COD, yakni kemampuan bahan/unsur yang terdapat dalam limbah dapat pecah menjadi bahan/unsur yang lebih simpel oleh mikroorganisme. Dari nilai rasio BOD/COD yang dihasilkan limbah cair medis RSCM sangatlah kecil, maka dapat diketahui bahwa kemampuan unsur yang terdapat dalam limbah sulit untuk pecah menjadi unsur yang lebih simpel. Oleh karena itu dibutuhkan pengolahan limbah cair medis RSCM, untuk memecah unsur yang terdapat dalam limbah dan untuk meningkatkan kemampuan limbah untuk terbiodegradasi.

Selain limbah cair medis yang dihasilkan RSCM, terdapat juga limbah lain yang memiliki nilai rasio BOD/COD kecil, seperti *leachate*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Chian & DeWalle, 1976, BOD/COD *leachate* yang terdapat di *landfill* dapat mencapai nilai 0,04.

Perubahan karakteristik limbah, meningkatkan rasio BOD/COD, dapat dilakukan dengan melakukan pengolahan secara fisika, kimia dan biologi. Pengolahan fisika dan kimia biasanya dilakukan sebagai *primary treatment*, sedangkan biologi sebagai *secondary treatment*.

Untuk pengolahan limbah cair medis dibutuhkan pengolahan fisika-kimia, diharapkan nilai rasio BOD/COD dapat terpenuhi. Setelah dilakukan pengolahan fisika dan kimia, limbah tersebut dapat dengan aman diolah menggunakan pengolahan biologis.

4.4 PRE-TREATMENT KOAGULASI-FLOKULASI

4.4.1 Efektivitas *Pre-treatment* Koagulasi-Flokulasi

Pre-treatment koagulasi-flokulasi merupakan salah satu proses kimia-fisika yang dapat digunakan untuk mengolah air limbah untuk mengurangi kadar kontaminan yang terdapat didalamnya, proses yang terjadi adalah mengurangi nilai suspended solid dan koloid yang terkandung. Nilai BOD dan COD, yang merupakan parameter kunci dalam penelitian ini, besarnya secara tidak langsung dipengaruhi oleh suspended solid dan koloid. Suspended koloid dapat mengandung partikulat dan bahan organik terlarut yang sangat berpengaruh terhadap besarnya nilai BOD dan COD dari suatu limbah.

Dalam penelitian ini dilakukan *pre-treatment* koagulasi-flokulasi dengan variasi dosis koagulan FeCl_3 dan dilakukan sebanyak tiga kali dengan menggunakan tiga sampel yang dihasilkan pada hari yang berbeda. Dosis yang digunakan dalam penelitian berada dalam rentang 25–350 ppm. Rentang dosis tersebut digunakan karena dosis 50 ppm biasanya digunakan sebagai pengolahan limbah (Suarez et al., 2008). Sedangkan bila koagulan memiliki dosis hingga mencapai 400 ppm, diperkirakan sudah melebihi batas optimal koagulan tersebut untuk beroperasi dan dapat memberikan dampak lebih bagi limbah cair tersebut.

Percobaan dilakukan dengan skala laboratorium menggunakan *jar test*. Hasil dari percobaan ini untuk mengetahui dosis koagulan optimal dalam mengolah limbah cair medis yang dihasilkan rumah sakit. Berikut merupakan data yang dihasilkan dari percobaan-percobaan yang dilakukan :



Gambar 4.6 Percobaan Koagulasi–Flokulasi

Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2012

Tabel 4.6 Percobaan Koagulasi–Flokulasi 2 Maret 2012

	Temperatur	pH	COD (mg/L)	Efektivitas COD (%)	BOD (mg/L)	Efektivitas BOD (%)
Sampel	30	5,9	92800	-	-	-
1 (25 ppm)	29,5	5,11	68800	25,86	-	-
2 (50 ppm)	29,5	4,77	52800	43,10	-	-
3 (75 ppm)	30	4,57	68800	25,86	-	-
4 (100 ppm)	30	4,3	84800	8,62	-	-
5 (125 ppm)	29,5	4,29	92800	0	-	-

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Tabel 4.7 Percobaan Koagulasi–Flokulasi 14 Maret 2012

	Temperatur	pH	COD (mg/L)	Efektivitas COD (%)	BOD (mg/)	Efektivitas BOD (%)
Sampel	30	6,06	64000	-	515,74	
1 (25 ppm)	29,5	5,95	48000	25	225,71	56,23
2 (50 ppm)	30	5,72	48000	25	322,25	37,51
3 (75 ppm)	30	5,52	91200	-42,5	450,97	12,55
4 (100 ppm)	29,5	5,38	40000	37,5	547,68	-6,19
5 (125 ppm)	29,5	5,25	56000	12,5	-	-

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Tabel 4.8 Percobaan Koagulasi–Flokulasi 11 April 2012

	Temperatur	pH	COD (mg/)	Efektivitas COD (%)	BOD (mg/)	Efektivitas BOD (%)
Sampel	30	6,17	84800	-	193,27	-
1 (150 ppm)	29,5	4,81	28800	66,03	483,41	-150,12
2 (200 ppm)	30	4,26	41280	51,32	193,38	-0,05
3 (250 ppm)	29,5	4,1	43200	49,05	128,98	33,26
4 (300 ppm)	29,5	4,05	35840	57,73	48,36	74,97
5 (350 ppm)	30	3,63	44800	47,16	112,93	41,56

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Efektivitas dari *pre-treatment* koagulasi-flokulasi yang telah dilakukan dapat dinilai berdasarkan nilai removal beberapa parameter yang dihasilkan dari percobaan ini. Parameter yang menjadi fokus/parameter kunci dalam penelitian ini adalah BOD dan COD.

Berikut adalah penjabaran hasil dari percobaan koagulasi-flokulasi yang telah dilakukan terhadap beberapa parameter, yaitu :

4.4.1.1 Temperatur

Temperatur yang dihasilkan proses koagulasi-flokulasi tidak memiliki perubahan yang signifikan. Terdapat suhu yang bernilai sama, yakni dalam rentang 29,5–30 °C. Temperatur limbah yang dihasilkan tidak mengalami perubahan, namun hal ini tidak berarti bahwa limbah tersebut tidak terdapat aktivitas kimia maupun biologis.

Parameter temperatur limbah cair medis yang dihasilkan memenuhi persyaratan ambang baku mutu, sesuai dengan KepMenLH No. 58 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Rumah Sakit yang menyatakan bahwa nilai temperatur maksimal dari limbah cair adalah 30 °C.

4.4.1.2 Warna

Setelah dilakukannya percobaan *pre-treatment* koagulasi-flokulasi, warna limbah yang dihasilkan mengalami perubahan. Perubahan warna pada limbah cair ini diakibatkan oleh penggunaan koagulan dalam *pre-treatment* tersebut. Banyaknya dosis koagulan yang digunakan mempengaruhi besarnya perubahan warna pada limbah tersebut.

Pada dosis sebesar 25 ppm, dihasilkan warna yang tidak begitu jauh berbeda dengan sampel sebelumnya. Pada rentang dosis 50–125 ppm, warna limbah mengalami perubahan namun tidak begitu jernih. Pada saat menggunakan dosis 150–250 ppm pada sampel limbah cair, limbah yang dihasilkan memiliki warna yang jernih. Warna jernih limbah dihasilkan karena FeCl_3 dapat merubah sebagian warna dengan mereaksikan senyawa pembawa warna yang bermuatan negatif dengan kation Fe^{3+} (Reynolds & Richards, 1996).

Perlu diperhatikan bahwa semakin banyaknya dosis koagulan yang digunakan tidak selalu berbanding lurus dengan kejernihan warna limbah yang dihasilkan. Terdapat kadar optimal dosis koagulan dalam limbah atau titik jenuh dari limbah itu sendiri. Apabila dosis koagulan melebihi kadar optimal atau telah melebihi dari titik jenuhnya, maka warna yang dihasilkan tidak menjadi jernih. Dalam percobaan ini, ketika dosis yang diberikan melebihi 250 ppm, limbah yang dihasilkan memiliki warna agak kekuningan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kandungan koagulan FeCl_3 dalam limbah telah berlebih.

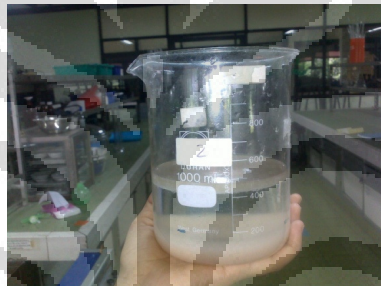
Koagulan FeCl_3 yang berlebih dapat menimbulkan masalah, dapat menimbulkan warna dan bersifat korosif dan koagulasi tidak berlangsung dengan baik (Reynolds & Richards, 1996). Apabila kandungan FeCl_3 berlebih dalam limbah yang diolah, maka limbah tersebut dapat menjadi sumber kontamina. Sumber kontaminan yang dimaksud adalah dengan sifat asam yang dimiliki oleh

FeCl_3 , maka pipa besi atau peralatan lainnya bila dilewati limbah dapat mengakibatkan korosi.



Gambar 4.7 Sampel dengan Dosis Koagulan 75 ppm

Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2012



Gambar 4.8 Sampel dengan Dosis Koagulan 200 ppm

Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2012



Gambar 4.9 Sampel dengan Dosis Koagulan 350 ppm

Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2012

Jernihnya warna limbah yang dihasilkan tidak dengan mutlak mengindikasikan bahwa material toksik, koloid, dan bahan lainnya yang terdapat dalam limbah telah terolah seluruhnya. Diperlukan analisis terhadap parameter

lain yang memiliki pengaruh terhadap indikasi toksisitas dalam limbah, seperti BOD, COD, dan parameter lainnya.

4.4.1.3 pH

pH yang dihasilkan dalam penelitian ini menunjukkan penurunan yang konsisten (lihat Gambar 4.10). Semakin banyak dosis koagulan yang digunakan dalam percobaan ini, pH yang dihasilkan semakin menurun.

Penurunan nilai pH dipengaruhi oleh banyaknya koagulan yang digunakan dalam percobaan koagulasi-flokulasi. Pada saat koagulan $FeCl_3$ bertemu dengan air memberikan reaksi yang dapat bersifat asam yang diakibatkan oleh terlepasnya proton (H^+) yang dihasilkan dari proses hidrolisis (Metcalf & Eddy, 2003). Berikut merupakan reaksi yang dihasilkan pada saat koagulan $FeCl_3$ bereaksi dengan limbah, yaitu :

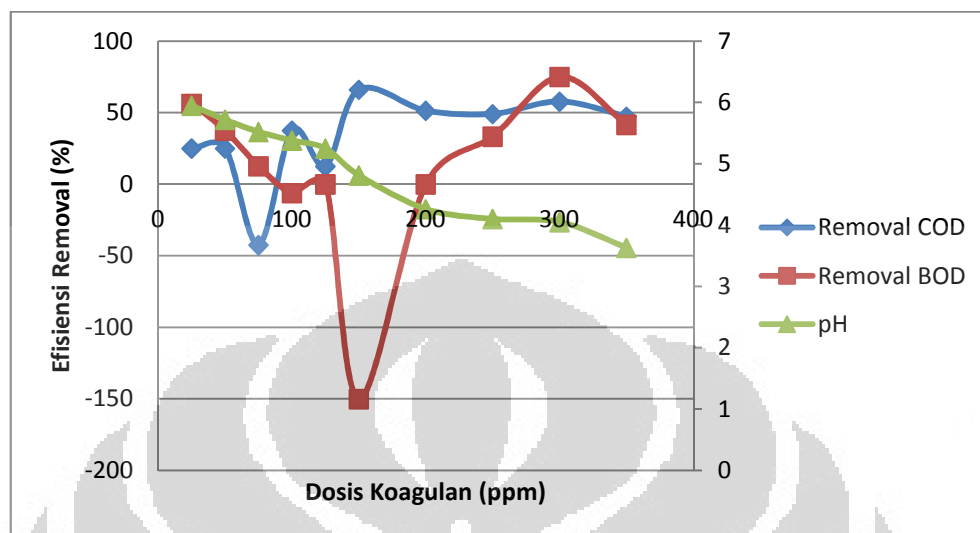


Dari persamaan di atas, diketahui semakin banyaknya $FeCl_3$ yang ditambahkan akan mengakibatkan penurunan pH. Pada pH di bawah pH optimum (pH asam), kelarutan $Fe(OH)_3$ akan meningkat membentuk muatan positif $[Fe(OH)_2]^+$, $[Fe(OH)]_2^+$ dan pada pH di atas pH optimum (pH basa), kelarutan $Fe(OH)_3$ akan meningkat pula membentuk muatan negatif $[Fe(OH)_4]^-$. Kelarutan $Fe(OH)_3$ yang meningkat menyebabkan berkurangnya jumlah $Fe(OH)_3$ yang menjerap partikel di sekitarnya. Reaksi penjerapan yang terjadi merupakan reaksi pertukaran ion (Manahan, 1994).

4.4.1.4 *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Parameter kunci untuk mengetahui efektivitas *pre-treatment* koagulasi-flokulasi yang telah dilakukan dalam penelitian ini adalah nilai BOD dan COD. Setelah dilakukannya percobaan koagulasi-flokulasi, menghasilkan perubahan pada nilai kandungan BOD dan COD. Diketuinya nilai awal, sebelum percobaan, dan nilai setelah dilakukannya percobaan koagulasi-flokulasi, maka dapat diketahui nilai removal BOD dan COD yang dihasilkan. Berikut merupakan

grafik efisiensi removal BOD, COD dan grafik perubahan pH terhadap dosis koagulan yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 4.10 Grafik pH dan Removal BOD & COD terhadap Dosis Koagulan

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Nilai persentase removal BOD dan COD yang terdapat dalam grafik diatas, hasil dari percobaan yang telah dilakukan, nantinya akan menjadi patokan efektivitas dari *pre-treatment* koagulasi–flokulasi yang telah dilakukan.

Pada parameter BOD dapat terlihat bahwa dalam rentang dosis koagulan 25–150 ppm nilai removal mengalami penurunan secara perlahan, hingga mencapai nilai removal yang drastis pada dosis 150 ppm, yakni -150,12%. Setelah itu seiring dengan bertambahnya dosis koagulan, nilai removal mengalami kenaikan hingga dosis 300 ppm.

Untuk parameter COD nilai removal mengalami kenaikan dan penurunan. Pada rentang 25–200 ppm, baik kenaikan maupun penurunan removal tidak menunjukkan konsistensi. Konsistensi yang dimaksud adalah removal dalam rentang dosis terdekat menunjukkan penurunan maupun kenaikan secara berturut-turut. Pada dosis koagulan 75 ppm, 150 ppm, dan 200 ppm nilai removal untuk COD berturut-turut adalah -42,5%, 66,03%, dan 51,32%.

Pada dosis 150 ppm, BOD mengalami penurunan efisiensi hingga mencapai -150,12%. Penurunan nilai BOD mengindikasikan terjadinya konsumsi substrat atau bahan organik yang terdapat dalam limbah oleh

mikroorganisme/bakteri, yang terdapat dalam limbah tersebut, atau terbiodegradasi. Sedangkan naiknya nilai BOD disebabkan oleh telah terpecahnya kandungan substrat kompleks yang terdapat di limbah. Sehingga pada saat setelah perlakuan percobaan, mikroorganisme yang terdapat di dalam limbah dapat dengan mudah untuk mengonsumsi senyawa organik yang sebelumnya bersifat kompleks menjadi bahan yang mudah terurai. Terbentuknya senyawa-senyawa yang lebih mudah terbiodegradasi, tidak berarti dengan kenaikan nilai BOD, proses tersebut tidak terjadi kembali. Proses yang dimaksud adalah terbentuknya kembali senyawa-senyawa yang lebih mudah terbiodegradasi, karena senyawa yang mudah terbiodegradasi masih dalam proses tetapi laju reaksinya lebih kecil dibandingkan laju penguraian senyawa organik tersebut.

Turunnya nilai efisiensi COD secara ekstrim pada dosis 75 ppm, dapat terjadi karena terjadinya penguraian senyawa-senyawa yang semula sulit terdegradasi, menjadi senyawa organik sederhana dan mudah terdegradasi. Kenaikan nilai COD, selain terjadi pada dosis 75 ppm, juga terjadi pada dosis 125 ppm dan 200 ppm.

Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya kenaikan nilai COD setelah mencapai nilai minimum setelah perlakuan. Pertama adalah adanya senyawa yang semula tidak terukur, kemudian menjadi senyawa organik yang lebih sederhana dan dapat terukur. Senyawa yang dimaksud diantaranya adalah piridin, benzen, toluen, butanol tersier, dietilen glikol, dan senyawa-senyawa turunannya. Kedua karena adanya fasa kematian mikroorganisme akibat persaingan internal antar populasi untuk mempertahankan hidupnya dalam lingkungan dan nutrisi yang terbatas. Mikroorganisme yang mati dapat mengalami lisis (pecahnya sel dan keluarnya cairan sel) yang mempengaruhi kandungan senyawa organik dalam larutan (Budhi, et al., 1999).

Seperti yang diketahui sebelumnya bahwa percobaan koagulasi–flokulasi dilakukan sebanyak tiga kali. Setiap percobaan dilakukan terhadap sampel limbah cair medis yang berbeda pada waktu pengambilan sampel. Perbedaan waktu pengambilan sampel dapat menjadi salah satu faktor yang dapat menyebabkan naik–turunnya efisiensi removal pada percobaan koagulasi–flokulasi terhadap parameter BOD dan COD.

Dari grafik tersebut, dapat diketahui dosis koagulan optimal yakni sebesar 150 ppm. Pada dosis 150 ppm nilai efisiensi untuk COD mencapai nilai terbesar, yaitu sebesar 66,03%. Untuk BOD pada dosis 150 ppm memiliki nilai removal sebesar -150,12%, yang berarti nilai BOD setelah percobaan lebih besar dibanding dengan nilai BOD sebelum dilakukannya percobaan. Nilai pH yang dihasilkan dari percobaan koagulasi-flokulasi terdapat dalam rentang 3,63–5,95. Untuk dosis 150 ppm sampel memiliki nilai pH sebesar 4,81. Hal ini sesuai dengan kisaran pH optimum koagulan FeCl₃ yang berkisar antara pH 4 dan 7 (Lugosi & Gajari, 2002).

Akan tetapi, walaupun removal COD mencapai 66,03%, nilai COD yang dihasilkan masih jauh di atas baku mutu KepMenLH No. 58 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Kegiatan Rumah Sakit.

Nilai removal COD yang dihasilkan dari percobaan di atas memiliki hasil yang berbeda dengan nilai removal dalam penelitian Guatam et al., 2006. Penelitian yang dilakukan Guatam et al., 2006, dapat mengurangi nilai COD hingga mencapai nilai removal 98%. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan karakteristik limbah cair medis yang dihasilkan. Dalam penelitian Guatam et al., 2006, limbah yang digunakan merupakan limbah rumah sakit yang berasal lebih dari satu sumber dan memiliki nilai COD sebesar 1067 mg/L, berbeda jauh dengan COD yang dimiliki oleh limbah cair medis RSCM sehingga dapat mempengaruhi tingkatan efektivitas removal COD dalam pengolahan koagulasi-flokulasi.

4.4.2 Rasio BOD/COD

Dari nilai BOD dan COD yang dihasilkan dari percobaan, dapat diketahui nilai rasio BOD/COD dan dapat menentukan apakah limbah hasil dari pengolahan limbah cair medis tersebut memiliki nilai yang lebih baik dibanding sebelumnya atau tidak. Rasio BOD/COD sebelum dilakukan *pre-treatment* memiliki nilai < 0,01. Setelah dilakukannya *pre-treatment* rasio BOD/COD yang dihasilkan ada mengalami kenaikan, namun ada juga yang mengalami penurunan.

Tabel 4.9 Rasio BOD/COD terhadap Dosis Koagulan

Dosis Koagulan	Efisiensi COD (%)	Efisiensi BOD (%)	Rasio BOD/COD
25 ppm	25	56,23	0,004702
50 ppm	25	37,51	0,006714
75 ppm	-42,5	12,55	0,004945
100 ppm	37,5	-6,19304	0,013692
125 ppm	12,5	-	-
150 ppm	66,03	-150,12	0,016785
200 ppm	51,32	-0,05	0,004685
250 ppm	49,05	33,26	0,002986
300 ppm	57,73	74,97	0,001349
350 ppm	47,16	41,56	0,002521

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Dosis optimal koagulan yang dihasilkan dalam percobaan ini ialah 150 ppm dengan nilai rasio BOD/COD 0,016785. Nilai rasio BOD/COD yang dihasilkan masih mendekati nol dan menunjukkan bahwa limbah masih memiliki tingkatan biodegradasi yang rendah dan mengandung substansi yang bersifat toksik. Rasio BOD/COD yang dihasilkan masih memiliki nilai yang sangat jauh dari target yang ingin dicapai pada penelitian ini, yaitu dengan nilai 0,6 agar limbah layak untuk masuk ke dalam pengolahan biologis. Dari nilai rasio BOD/COD yang dihasilkan, maka dapat dikatakan bahwa pengolahan yang dilakukan masih jauh untuk memenuhi kriteria yang diharapkan.

4.5 DESAIN UNIT *PRE-TREATMENT* LIMBAH CAIR MEDIS

4.5.1 Variasi Percobaan

Rasio BOD/COD yang dihasilkan dari percobaan koagulasi–flokulasi sangat kecil, masih jauh dari yang diharapkan. Untuk mencapai nilai rasio BOD/COD yang diharapkan, dibutuhkan pengolahan tambahan yang mendukung dan dapat memaksimalkan pengolahan yang dilakukan.

Pada saat penelitian, peneliti melakukan variasi percobaan menggunakan kertas saring. Sampel limbah sebelum diolah secara koagulasi–flokulasi, disaring terlebih dahulu menggunakan kertas saring. Hal ini dilakukan bertujuan untuk mengurangi kadar minyak yang terdapat dalam limbah cair medis. Limbah cair

medis memiliki dua buah lapisan, yang terpisah karena massa jenis yang berbeda antara satu fase dengan fase yang lainnya.

Variasi percobaan dilakukan menggunakan 100 mL sampel yang disaring ke dalam beaker glass. Setelah disaring, sampel kemudian diaduk menggunakan *stirrer* setelah koagulan dilarutkan dengan dosis 100 ppm. Nilai COD awal dari limbah adalah 84800 mg/L. Setelah dilakukan percobaan menggunakan kombinasi filtrasi dan koagulasi–flokulasi, nilai COD akhir adalah 7680 mg/L. Variasi percobaan tersebut menghasilkan removal COD sebesar 90,9%.

Kertas saring untuk skala laboratorium yang bertujuan untuk mengurangi kadar minyak dalam limbah dapat diganti dengan penggunaan *grease trap* untuk skala unit pengolahan limbah. Selain itu, untuk meningkatkan hasil removal koagulasi–flokulasi dapat menggunakan membran ultrafiltrasi (UF) untuk mencapai rasio BOD/COD yang diharapkan.

Apabila diaplikasikan, *grease trap* digunakan sebelum dilakukannya pengolahan koagulasi–flokulasi, dikarenakan fungsinya untuk mengurangi kandungan minyak dalam limbah. Sedangkan membran UF digunakan setelah pengolahan koagulasi–flokulasi, dikarenakan properti membran yang memiliki diameter kecil, dapat menimbulkan *clogging* bila digunakan sebelum koagulasi–flokulasi.

Unit koagulasi–flokulasi dapat didesain dan dibuat bila rasio BOD/COD yang dihasilkan dari percobaan telah mencapai nilai yang diharapkan, sehingga penggunaan pengolahan tambahan, seperti *grease trap* maupun membran UF merupakan salah satu pilihan yang wajib digunakan bila *pre-treatment* koagulasi–flokulasi akan diaplikasikan.

4.5.2 Desain Unit

Debit yang dihasilkan limbah cair medis RSCM sebesar 40 liter/hari. Debit yang dihasilkan sangat kecil, sehingga untuk desain unit koagulasi–flokulasi berikut menggunakan sistem batch, yaitu pengolahan yang dilakukan setelah limbah yang dihasilkan dikumpulkan terlebih dahulu dalam jangka waktu tertentu hingga mencapai volume yang memungkinkan untuk dilakukan pengolahan. Setelah limbah dikumpulkan, kemudian limbah akan diolah.

Volume limbah cair yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$Q = 40 \frac{\text{liter}}{\text{hari}}$$

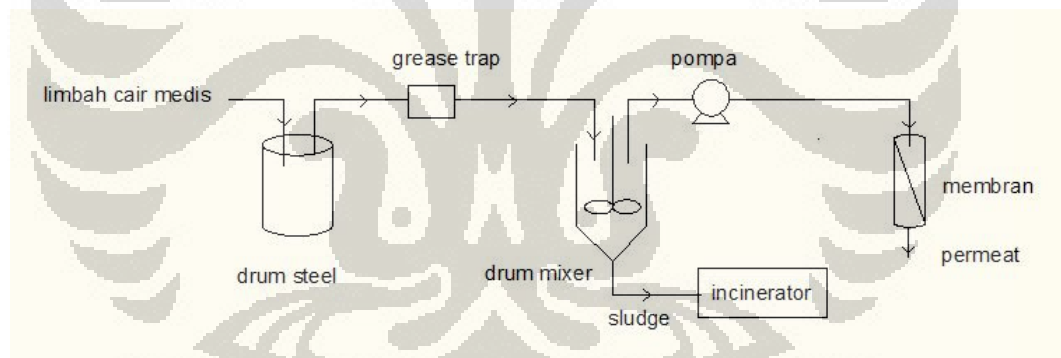
t = 4 hari (lama penyimpanan limbah)

Maka, volume yang dihasilkan untuk pengolahan limbah dalam unit koagulasi–flokulasi adalah :

$$V = \left(40 \frac{\text{liter}}{\text{hari}}\right) \times (4 \text{ hari}) = 160 \text{ liter} = 0,16 \text{ m}^3 \approx 0,2 \text{ m}^3 = 52,8 \text{ gallons}$$

Dalam pengolahan menggunakan sistem *batch*, maka dibutuhkan tempat pengumpul yang dapat menampung limbah dengan volume $0,2 \text{ m}^3$, yaitu drum dengan kapasitas 55 gallons.

Berikut adalah desain pengolahan yang dibutuhkan untuk mengolah limbah cair medis RSCM dengan skenario penggunaan pengolahan tambahan *grease trap* dan membran UF :



Gambar 4.11 Desain Pengolahan Limbah Cair Medis RSCM

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Tabel 4.10 Desain Removal Pengolahan Limbah Cair Medis

Efisiensi Removal	Koagulasi - Flokulasi	Membran UF
COD (%)	66,03	80 - 90
BOD (%)	-150,12	50 -60

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Berikut adalah spesifikasi unit yang digunakan dalam pengolahan limbah cair medis RSCM :

a. *Steel Drum*

Fungsi	: unit pengumpul limbah sebelum limbah diolah
Diameter (mm)	: 571,5 (inner)/585 (external)
Ketebalan (mm)	: 1 (cover)/0,9 (shield)/1 (ground)
Tinggi (mm)	: 880
Berat (kg)	: 17,3
Cap Size	: ¾" + 2"
Material	: Carbon Steel
Lapisan	: Epoxy Phenolic
Aplikasi	: Penyimpanan sampah, minyak, bahan kimia, dan lainnya
Harga	: USD 52,20 = Rp. 492.402,- (kurs USD 1 = Rp. 9.433)



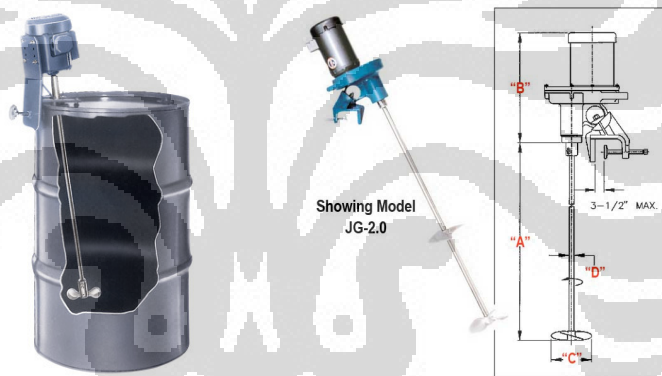
Gambar 4.12 Steel Drum

Sumber : 55 Gallon Reconditioned Black Unlined Closed Head Steel Drum, (n.d.)

b. Unit Koagulasi–Flokulasi

Untuk unit koagulasi–flokulasi, dikarenakan volume limbah yang dihasilkan sedikit, maka pengolahan menggunakan drum *mixer*. Drum *mixer* merupakan sebuah drum yang cara kerjanya menyerupai cara kerja unit koagulasi–flokulasi dalam unit pengolahan namun dalam skala yang lebih kecil. Spesifikasi drum yang digunakan dalam unit koagulasi sama dengan spesifikasi steel drum. Berikut merupakan spesifikasi dari drum *mixer*, yaitu:

Model mixer	: JGF-2.0
Standar Motor Description	: 1/3 HP-1-115/230
A (Shaft Length)	: 48"
B	: 17 5/8"
C	: 10" (single)/8" (dual)
D (Shaft Diameter)	: 3/4"
Material	: SS 316
Kecepatan motor	: 1750 rpm max
Sifat	: Tidak terganggu oleh minyak, kecepatan motor dapat diatur, tidak mudah terlepas.
Harga	: USD 676,50 = Rp. 6.381.425,- (kurs USD 1 = Rp. 9433)



Gambar 4.13 Drum Mixer

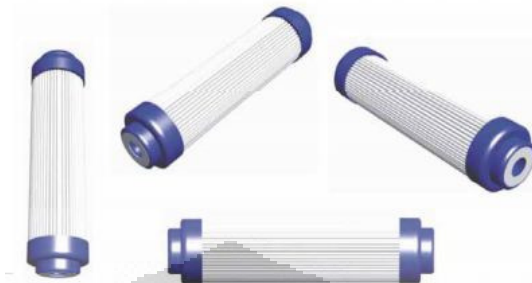
Sumber : Portable Drum Mixers and Drum Agitators. (n.d.)

c. Membran Ultrafiltrasi

Untuk mencapai nilai rasio BOD/COD yang diharapkan yaitu mendekati nilai 0,6, maka dibutuhkan pengolahan tambahan untuk memaksimalkan kinerja unit koagulasi-flokulasi. Berikut merupakan spesifikasi dari membran UF, yaitu :

Model	: U-210
Kapasitas	: 50-60 liter/jam
Jenis Membran	: Hollow Fiber
Material	: PP (Polypropylene)

Dimensi : 2" (diameter)/10" (panjang)
 Harga : Rp. 100.000



Gambar 4.14 Membran Ultrafiltrasi

Sumber : Membran ultrafiltrasi. (n.d.)

4.5.3 Nilai Ekonomis

Nilai ekonomis merupakan salah satu faktor penting dalam mempertimbangkan desain unit pengolahan limbah. Pertimbangan yang dimaksud adalah apakah pengolahan tersebut dapat diaplikasikan untuk mengurangi beban pencemar dan apakah memungkinkan dilakukan bila dilihat dari segi ekonomis.

Untuk memaksimalkan kinerja pengolahan sehingga mencapai nilai rasio BOD/COD 0,6, *pre-treatment* koagulasi–flokulasi harus dilengkapi dengan membran UF. Berikut merupakan perkiraan besarnya biaya yang akan dikeluarkan bila pengolahan *pre-treatment* limbah cair medis akan diaplikasikan :

Tabel 4.11 Daftar Harga Bahan/Alat *Pre-treatment*

No	Bahan/Alat	Kuantitas	Satuan	Harga (Rupiah)
1	FeCl ₃	1	kg	14.000
2	Steel Drum	1	-	492.402
3	Membran UF	1	-	100.000
4	Drum Mixer	1	-	6.381.425
5	Grease Trap	1	-	377.320
6	Pompa	1	-	943.300
Total				8.308.447

Sumber : Hasil Pengolahan Penelitian, 2012

Dari tabel diatas dapat dilihat hasil perkiraan biaya yang akan dikeluarkan untuk membuat *pre-treatment* koagulasi–flokulasi adalah sebesar Rp.

8.308.447,00. Perkiraan biaya tersebut adalah biaya untuk membeli peralatan yang akan digunakan sebagai unit desain, belum ditambah dengan biaya perawatan dan pengolahan lumpur B3 yang akan dihasilkan.

Apabila dengan limbah cair medis diolah oleh pihak ketiga, seperti PPLI, biaya yang dikeluarkan untuk mengolah limbah adalah :

1 m ³ limbah	= USD 100–300
1 m ³	= USD 150
1000 liter	= USD 150
1 liter	= USD 0,15
1 liter	= Rp. 1415,00 (kurs USD 1 = Rp 9.433,00)
40 liter	= Rp. 56.600,00

Dari hasil perhitungan diatas dapat dilihat banyaknya biaya yang diperkirakan akan dikeluarkan bila limbah cair medis rumah sakit diolah oleh pihak ketiga.

Biaya yang akan dikeluarkan untuk mengolah limbah cair medis secara koagulasi–flokulasi memiliki nilai lebih besar dibanding bila melalui pihak ketiga. Apabila dilihat dari volume limbah yang dihasilkan dan dari segi ekonomis, pengolahan koagulasi–flokulasi untuk limbah cair medis rumah sakit bukan merupakan pengolahan rekomendasi. Besarnya biaya yang dikeluarkan karena tidak seimbangny volume limbah cair medis yang dihasilkan setiap harinya dengan rencana pengolahan limbah yang akan dilakukan. Dilihat dari kualitas limbah yang akan dihasilkan dari pengolahan koagulasi–flokulasi, maka pengolahan tersebut dapat dikatakan kurang efektif. Besarnya nilai COD yang terkandung dalam limbah dapat menjadi kendala dalam pengolahan tersebut. Rasio BOD/COD yang dihasilkan dari pengolahan koagulasi–flokulasi setelah digabungkan dengan membran UF adalah 0,028. Oleh karena itu, untuk mengaplikasikan pengolahan koagulasi–flokulasi dibutuhkan pertimbangan lebih.

Akan tetapi dilihat jangka panjang, bila limbah cair medis yang dihasilkan memiliki volume yang lebih banyak, pengolahan limbah yang dilakukan dapat mencapai nilai rasio BOD/COD 0,6, dan pihak rumah sakit

memiliki komitmen untuk mengolah limbah cair medis tanpa melibatkan pihak ketiga merupakan suatu hal yang baik untuk mengaplikasikan *pre-treatment* limbah cair medis.



BAB 5

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa :

- Debit limbah cair medis yang dihasilkan RSCM adalah 40 liter/hari. Limbah cair medis RSCM berasal dari limbah farmasi, laboratorium hispatologi–patologi anatomi, laboratorium imunologi, laboratorium patologi eksperimental, dan patologi molekuler.
- Limbah cair medis RSCM memiliki karakteristik sebagai berikut : (a) temperatur 30°C; (b) pH dalam rentang 5–6,5; (c) BOD pada pengambilan sampel tanggal 14 Maret 2012 memiliki nilai 515,74 mg/L, sedangkan pada tanggal 11 April 2012 memiliki nilai 193,27 mg/L; (d) COD pengambilan sampel tanggal 02 Maret 2012 memiliki nilai 92800 mg/L, pada tanggal 14 Maret 2012 memiliki nilai 64000 mg/L, sedangkan pada tanggal 11 April 2012 memiliki nilai 84800 mg/L; (e) rasio BOD/COD yang dihasilkan memiliki nilai <0,01.

Nilai rasio BOD/COD menunjukkan bahwa limbah cair medis RSCM mengandung substansi toksik karena memiliki nilai rasio BOD/COD yang mendekati nol.

- *Pre-treatment* koagulasi–flokulasi yang dilakukan terhadap limbah cair medis tidak berpengaruh banyak pada temperatur, dapat mengurangi nilai pH seiring bertambahnya dosis koagulan yang digunakan. Pada dosis optimal, yaitu 150 ppm, dapat mengurangi nilai COD hingga mencapai 66%, menaikkan nilai BOD hingga mencapai -150%, dan memiliki pH dengan nilai 4,81. *Pre-treatment* koagulasi–flokulasi menghasilkan rasio BOD/COD dengan nilai sebesar 0,0168. Rasio BOD/COD yang dihasilkan masih jauh dari rasio BOD/COD yang diharapkan yaitu 0,6, sehingga *pre-treatment* koagulasi–flokulasi merupakan suatu pengolahan yang kurang efektif digunakan.
- Untuk meningkatkan efektivitas hasil pengolahan limbah cair medis dapat menggunakan pengolahan tambahan, seperti grease trap yang berfungsi

untuk menyaring minyak yang dikandung limbah dan membran ultrafiltrasi yang memiliki efisiensi removal COD mencapai 90%.

- Kecilnya debit limbah cair medis yang dihasilkan, sehingga desain unit koagulasi–flokulasi menggunakan peralatan portable yang cara kerjanya menyerupai kerja unit koagulasi–flokulasi. Peralatan yang digunakan adalah steel drum, yang berfungsi sebagai pengumpul limbah dalam waktu tertentu, dan drum mixer, yang berfungsi sebagai unit koagulasi–flokulasi.

5.2 SARAN

Berikut adalah saran yang dapat digunakan untuk pengembangan pengolahan limbah cair medis rumah sakit, yaitu :

- Pengolahan limbah cair medis rumah sakit dapat dimaksimalkan dengan menambahkan pengolahan tambahan, seperti penggunaan *grease trap* sebelum koagulasi-flokulasi dan membran ultrafiltrasi setelah dilakukannya koagulasi–flokulasi.
- Penggunaan koagulan yang berbeda untuk mengetahui perbedaan tingkatan efektivitas dari masing-masing koagulan dan kontrol pH untuk menunjang kinerja koagulasi–flokulasi, seperti $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan FeSO_4 .
- Pengolahan limbah cair medis dapat dilakukan menggunakan variasi pengolahan kimia-fisika, selain koagulasi-flokulasi.
- Sebelum dilakukannya pengolahan, limbah cair dapat dipisah antara limbah cair yang memiliki sifat infeksius dan yang tidak, agar pengolahan dapat berjalan lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Akter, Nasima. (2000). *Medical Waste Management: A Review*. Khlongluang: Asian Institute of Technology.
- Akter, Nasima, AMR Chowdhury, and NM Kazi. (1998). *Hospital Waste Disposal in Bangladesh with Special Reference to Dhaka City and its Environmental Evaluation*. Shantibagh: Associatin for Rural Development and Studies.
- Baker, R.W. (2004). *Membrane Technology and Applications, 2nd*. Chichester: John Willey & Sons.
- BPLHD JABAR. (2009). *Pengelolaan Limbah Medis*. Bandung: Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Daerah.
- Budhi, Yogi Wibisono, Tjandra Setiadi, Bimo Harimurti. (1999). *Peningkatan Biodegradabilitas Limbah Cair Printing Industri Tekstil Anaerob*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Chian, ESK & F. B. DeWalle. (1976). *Sanitary Landfill Leachate and Their Treatment*. Journal of Environmental Engineering Division 102(2), 41 – 431.
- Cortez, S, R. Teixeir, Oliveira & M. Mota. (2008). *Rotating Biological Contactors: A Review Main Factors Affecting Performance*. Springer Science+Business Media.
- Davis, L. Mackenzie and David A. Cornwell. (1985). *Introduction to Enviromental Engineering. Second edition*. United State of Amerika: PWS Publisher.
- Deloffre-Bnnamour N. (1995). *Les rejets des établissements de santé : des effluents liquides aux déchets solides*. Lyon: Université Claude Bernard-Lyon
- Departemen Kesehatan Republik Indonesia. (2002). *Pedoman Penyusunan Standar Pelayanan Minimal Rumah Sakit yang Wajib Dilaksanakan Daerah*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pemberantasan Penyakit Menular dan Penyehatan Lingkungan.
- Departemen Kesehatan. (2006). *Penanganan Limbah Medis Tajam Harus Segera Dibenahi*. November 8, 2011. <http://www.depkes.go.id/index.php/berita/press-release/523-penangan-limbah-medis-tajam-harus-segera-dibenahi.html>
- Dwirianti, Dewi. (2004). *Pengolahan Lindi TPA Benowo dengan Biji Moringa Oleifera Lam dan Membran Mikro-Filtrasi*. Surabaya. Institut Teknologi Surabaya.
- El-Gohary, A and Tawfik Mahmoud. (2010). *Comparative study between chemical coagulation/precipitation (C/P) versus coagulation/dissolved air flotation (C/DAF) for pre treatment of personal care products (PCPs) wastewater*. Cairo: El-Azhar University.

- Emmanuel E., Keck, G., Blanchard, J., Vermande, P., Perrodin, Y. (2004). *Toxicological effects of disinfections using sodium hypochlorite on aquatic organisms and its contribution to AOX formation in hospital wastewater*. Environ.
- Emmanuel E, Perrodin Y, Keck G, Blanchard JM, Vermande P. (2005). *Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw effluents discharging into urban sewer network*. J Hazard Mater.
- Gartiser S, Willmund R, Brinker L, Erbe T, Kümmerer K. (1996). *Contamination of hospital wastewater with hazardous compounds as defined by §7a WHG*. Acta Hydrochim Hydrobiol.
- Gautam, Ajay Kumar and Sunil Kumar. Sabumon, P. C. (2006). *Preliminary Study of Physico Chemical Treatment Options for Hospital Wastewater*. Tamil Nadu: National Environmental Engineering Research Institute (NEERI).
- Hakim, Lukman dan Yayat Iman Supriyatna. (2009). *Pengambilan Logam Ni dalam Limbah Elektroplating dengan Proses Koagulas Flokulasi*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Halling-Sørensen B, Nors Nielsen S, Lanzky PF, Ingerslev F, Holten Lützhøft HC, Jørgensen SE. (1998). *Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment— a review*. Chemosphere.
- Hartemann P, Hautemaniere A, Joyeux M. (2005). *La problématique des effluents hospitaliers*. Hygiène.
- Henze, Mogenz. (1995). *Waste Water Treatment Biological and Chemical Process*. Germany: Springer verlag heidelberg.
- Ignasius DA, Sutapa. (1999). *Lumpur Aktif : Alternatif Pengolah Limbah Cair*. Cibinong: Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan & Lingkungan Peneliti Puslitbang Limnologi-LIPI.
- Jolibois B, Guerbet M, Vassal S. (2002). *Glutaraldehyde in hospital wastewater*. Arch Environ Contam Toxicol.
- Kementrian Negara Lingkungan Hidup (n. d.). *Limbah Rumah Sakit*. November 8, 2011. http://b3.menlh.go.id/pengelolaan/article.php?article_id=95
- Kümmerer K, Steger-Hartmann T, Meyer M. (1997). *Biodegradability of the anti-tumour agent ifosfamide and its occurrence in hospital effluents and communal sewage*. Water Res.
- Leprat P. (1998). *Les rejets liquides hospitaliers, quels agents et quelles solutions techniques les Assises Nationales QUALIBO*. Santé et environnement hospitalier, Caen.

- Lugosi R, Gajari J. (2002). *Influence of Natural Organic Matter on Coagulation Efficiency*. Hungary: University of Veszprem.
- Maharani, Zulfia. (2011, November 16). Personal interview.
- Mallack, H. M. & G. K. Anderson. (1997). *Cross-flow Microfiltration with Dynamic Membranes*. Journal Water Research Vol 31.
- Manahan SE. 1994. *Environmental Chemistry*. Michigan: Lewis.
- Marinkovic, N., Vitale, K., Holcer, N.J., Dzakula, A. dan Pavic, T. (2007). *Management of hazardous medical waste in Croatia*. Croatia: Journal of Waste Management.
- Mellaviale, Joel. (1996). *Water Treatment Membran Processes*. New York: Mc Graw Hill.
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2004). *Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit*. Jakarta: Achmad Sujudi.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. (1995). *Baku Mutu Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit*. Jakarta: Hambar Martono.
- Metcalf and Eddy. (2003). *Wastewater engineering: treatment, disposal, Reuse*. New York, : G. Tchobanoglous, F.L. Burton, H.D. Stensel.
- Mulder, M. (1996). *Basic Priciples of Membran Technology*. Netherland: Kluwer Academic Publisher.
- Notodarmojo, Suprihanto & Anne Deniva. (2004). *Penurunan Zat Organik dan Kekeruhan Menggunakan Teknologi Membran Ultrafiltrasi dengan Sistem Aliran Dead-End (Studi Kasus: Waduk Saguling Padalarang*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Notodarmojo, Suprihanto, Dini Mayasanthi & Teuku Zulkarnain. *Pengolahan Limbah Cair Emulsi Minyak denga Proses Membran Ultrafiltrasi Dua Tahap Aliran Cross-flow*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Notohadiprawiro, Tejoyuwono. (2006). *Metode Penelitian dan Penulisan Ilmiah*. Yogyakarta: Repro. Ilmu Tanah Universitas Gadjah Mada.
- Palupi, Widowati Sulisty. (2009). *Keanekaan Bakteri Aerob Mesofilik di Desa Kecamatan Porong Kabupaten Siduarjo Menggunakan Media Agar Padat Lumpur Siduarjo*. Surabaya. Institut Teknologi Surabaya.
- Peraturan Gubernur DKI Jakarta. (2005). *Pengelolaan Air Limbah Domestik DKI Jakarta*. Jakarta: Gubernur Provinsi DKI Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (1999). *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Jakarta: Presiden Republik Indonesia.
- Prüss A, Giroult E, Rushbrook P. (1999). *Safe Management of Wastes from Health- Care Activities*. Switzerland: World Health Organization.

- Qasim, S. R. (2000). *Water Works Engineering (Planning, Design, and Operation)*. Dallas Texas: Prentice Hall
- Rahayu, Driyanti. (2007). *Produksi Polihidroksialkanoat Dari Air Limbah Industri Tapioka dengan Sequencing Batch Reaktor*. Bandung: Universitas Padjadjaran.
- Reynolds, T.D. and Richards, P. A. (1996). *Unit Operation and Processes In Enviromental Engineering, Second Edition*. US: PWS Publishing Company.
- Rushbrook, P., Chandra, C., Gayton, S. (2000). *Starting healthcare waste management in medical institutions – a practical approach*. Copenhagen Practical Health care Waste Management Information Series No. 1, WHO Regional Office for Europe (EUR/00/5021817).
- Said, Nusa Idaman. (2008). *Pengelolaan Air Limbah Domestik di DKI Jakarta ‘Tinjauan Permasalahan, Strategi dan Teknologi Pengolahan’*. Jakarta: Pusat Teknologi Lingkungan Deputi Bidang Teknologi Pengembangan Sumberdaya Alam Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Said, Nusa Idaman. (1999). *Teknologi pengolahan air limbah rumah sakit dengan sistem "Biofilter Anaerob-Aerob"*. Jakarta: Seminar Teknologi Pengelolaan Limbah II: prosiding.
- Samudro, Ganjar dan Sarwoko Mongkoedihardjo. (2010). *Review on BOD, COD, and BOD/COD Ratio: A Triangle Zone For Toxic, Biodegradable and Stable Levels*. Semarang. Diponegoro University.
- Sarwanto, Setyo. 2009. *Limbah Rumah Sakit Belum Dikelolah Dengan Baik*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Sawyer, Clair N., Perry L. McCarty, and Gene F. Parkin (2003). *Chemistry for Environmental Engineering and Science (5th ed.)*. New York: McGraw-Hill.
- Schwartz T, Kohnen W, Jansen B, Obst U. (2003). *Detection of antibiotic-resistant bacteria and their resistance genes in wastewater, surface water, and drinking water biofilms*. FEMS Microbiol Ecol.
- SFHH. (1993). *Bilan et recommandations sur les conditions de rejets des effluents liquides des établissements de santé - Rapport aux Ministères de la santé et de l'environnement*. Paris: Société Française d'Hygiène Hospitalière.
- Sianita, Diw dan Ika Setya Nurchayati. (2009). *Kajian Pengolahan Limbah Cair Industri Batik, Kombinasi Aerob – Anaerob dan Penggunaan Koagulan Tawas*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Siregar, Sakti A. (2005). *Instalasi Pengolaha Air Limbah*. Yogyakarta: Kanisius.

- Sprehe M., Geißen. S-U, Vogelpohl A. (1999). *Behandlung von AOX-haltigem Abwasser aus dem Krankenhausbereich –Abbau iodierter Röntgenkontrastmittel*. Technische Universität Clausthal, Institut für Thermische Verfahrenstechnik, Clausthal-Zellerfeld, Korrespondenz Abwasser.
- Suarez, Sonia, Juan M Lema and Francisco Omil. (2008). *Pre-treatment of Hospital Wastewater by Coagulation-Flocculation and Flotation*. Galicia: University of Santiago de Compostela.
- Teng, S., Beard, K., Pourachman, J., Easson, E., Poon, R., Obrean, P.J., (2001). *Chem. Biol> Interact*, J. 30 : 130- 132,
- Troco, C et al. (1998). *Formaldehyde Derived From Dietary Aspartame Bind to Tissue Component in Vivo*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Una, Umrah Tezcan & A. Savas Koparal. (2007). *Electrocoagulation of Vegetable Oil Refinery Wastewater Using Aluminium Electrodes*. Turkiye: Anadolu University.
- UNEP. (1996). *International Source Book on Environmentally Sound Technologies for Municipal Solid Waste Management*. International Environmental Technology Centre.
- Weng, et al. (2002). *Landfill leachate Treatment by A Coagulation-Photooxidation Process*. J. Hazardous Mater. 95 (1/2): 153-159,
- Wenten, I. G. (1996). *Membrane technology for Industry and Environmental Protection*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- 55 Gallon Reconditioned Black Unlined Closed Head Steel Drum. (n.d.)
<http://www.emptypaintcans.com/55gallonreconditionedblackunlinedclosedheadsteeldrum1case.aspx>
- Diakses tanggal 5 Juni 2012 Pukul 21.29
- Portable Drum Mixers and Drum Agitators. (n.d.)
http://www.thecarycompany.com/containers/drums/drum_mixers.html
- Diakses tanggal 5 Juni 2012 Pukul 21.35
- Membran Ultrafiltrasi. (n.d.)
<http://www.indonetwork.co.id/allofers/ultrafiltrasi.html>
- Diakses tanggal 5 Juni 2012 Pukul 22.05

LAMPIRAN



Lampiran 1 Pengukuran Nilai BOD, COD, dan pH

Pengukuran BOD

Metode Titrasi Winkler

1. Prinsip

Pengukuran BOD terdiri dari pengenceran sampel, inkubasi selama 5 hari pada suhu 20°C dan pengukuran oksigen terlarut sebelum dan sesudah inkubasi.

Penurunan oksigen terlarut selama inkubasi menunjukkan banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh sampel air.

Oksigen terlarut dianalisa dengan menggunakan metode titrasi Winkler.

2. Pereaksi

a. Larutan Buffer Fosfat

8,5 gr KH_2PO_4 , 21,75 gr K_2PO_4 , 33,4 gr $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan MgSO_4 serta 1,7 gr NH_4CL dilarutkan dalam 500 ml aquadest dan diencerkan hingga volume 1 liter dan pH 7,2.

b. Larutan Magnesium Sulfat

22,5 gr $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dan diencerkan dengan aquadest hingga volume 1 liter

c. Larutan Kalsium Klorida

22,5 gr CaCl_2 dilarutkan dan diencerkan hingga volume 1 liter

d. Larutan Ferri Klorida

27,5 gr FeCl_3 dilarutkan dan diencerkan dengan aquadest hingga volume 1 liter

e. Bibit air kotor (seed)

Air limbah domestik yang banyak menggunakan mikroorganisme dan telah diaklimatisasi

f. Pembuatan air pengenceran (AP)

1 ml bibit air kotor (seed), 1 ml larutan buffer fosfat, 1 ml larutan FeCl_3 , 1 ml larutan CaCl_2 , dan 1 ml larutan MgSO_4 ditambahkan ke dalam 1 liter aquadest. Lalu aerasi selama 30 menit agar air pengencer jenuh dengan oksigen.

3. Cara Kerja

- a. Membuat larutan pengencer yang jenuh oksigen seperti dijelaskan pada pembuatan pereaksi di atas
- b. Menentukan angka pengenceran sampel :
Menentukan angka pengenceran dengan berdasarkan literatur atau berdasarkan hasil pengukuran angka permanganat
- c. Melakukan pengenceran
Pengenceran contoh air dengan air pengencer yang telah disediakan. Setelah diencerkan, masukkan ke dalam 2 buah botol BOD yang telah dikalibrasi volumenya. Salah satu botol BOD tersebut disimpan dalam inkubator 20⁰C selama 5 hari, sedangkan botol yang lainnya diperiksa kandungan oksigen terlarutnya dengan metode titrasi Winkler.
Untuk percobaan blanko disiapkan 6 botol BOD. Masing-masing botol diisi dengan air pengencer. Tiga botol pertama diinkubasikan selama 5 hari pada temperatur 20⁰C. Sedangkan tiga botol lainnya ditentukan kandungan oksigennya (DO).
- d. Pemeriksaan oksigen terlarut
Pemeriksaan oksigen terlarut dapat dilakukan dengan menggunakan alat DO meter atau dengan metode totrasi Winkler

Pengukuran COD Metode Refluk Tertutup

1. Persiapan
 - a. Tabung digestion, terbuat dari gelas jenis borosilikat dengan ukuran 16x100 mm, 19x150 mm, 25x150 mm, dengan tutup plastik TFE
 - b. Heating block, terbuat dari alumunium dengan kedalaman lubangnya 45-50 mm, yang dapat dioperasikan pada suhu 150⁰C.

2. Pereaksi
 - a. Larutan standar kalium dikromat 0,0167 M (0,1N)
 - b. Pereaksi asam sulfat
 - c. Larutan indikator ferroin
 - d. Larutan ferro sulfat (FAS) 0,1 M
 - e. Larutan standar kalium hidrogen ftalat

3. Cara Kerja
 - a. Tabung digestion telah bersih dibilas dengan larutan H₂SO₄ 20% sebelum digunakan. Kemudian contoh air dimasukkan ke dalam tabung digestion tersebut dengan ketentuan volume sebagai berikut:

Ukuran tabung digestion	Volume conth air (ml)	Volume K ₂ Cr ₂ O ₇ (ml)	Volume asam sulfat (ml)	Penambahan air sampai volume akhir
16x100 mm	2,5	1,5	3,5	7,5
20x150 mm	5,0	3,0	7,0	15
25x150 mm	10,0	6,0	14,0	30,0

- b. Kemudian tabung ditutup dengan rapat, dikocok hingga bercampur dengan sempurna (hati-hati dalam mengocok, karena asam sulfat pekat). Tabung digestion dipanaskan dalam heating block pada suhu 105⁰C selama 2 jam dinginkan sampai temperatur kamar.

- c. Kemudian pindahkan ke dalam labu erlenmeyer kecil secara kuantitatif, dengan menggunakan aquadest sebagai pembilas sampai volume akhir seperti dicantumkan pada tabel di atas. Kemudian dimasukkan magnetic stirring bar, tambah 0,05 – 0,1 ml larutan ferroin. Titrasi dilakukan dengan larutan FAS 0,1 M sambil dikocok dengan magnetic stirring.
- d. Titik akhir titrasi diperlihatkan dengan perubahan warna dari kuning-hijau kemudian merah, titrasi dihentikan pada saat terjadi perubahan warna merah.
- e. Lakukan percobaan blanko dengan menggunakan aquadest dan dikerjakan sama seperti di atas.



Pengukuran pH

1. Prinsip

Metode pengukuran pH berdasarkan pengukuran aktifitas ion hidrogen secara potensiometri/ elektrometri dengan menggunakan pH meter.

2. Bahan

- Sampel yang akan diukur
- Air suling

3. Peralatan

- pH meter dengan pelengkapannya
- beaker glass 100 ml

4. Prosedur

- Sampel yang akan diuji dituang ke dalam beaker glass 100 ml
- elektroda dibilas terlebih dahulu sebelum mengukur sampel
- elektroda dicelupkan ke dalam beaker glass yang berisi sampel, diamati hingga pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap.



Lampiran 2 Dokumentasi Percobaan Koagulasi – Flokulasi

Dokumentasi Percobaan Koagulasi – Flokulasi

Percobaan Koagulasi – Flokulasi Pertama 02 Februari 2012



Percobaan Koagulasi – Flokulasi (Kiri-Kanan: Percobaan Jar-test – Hasil dengan dosis 25 ppm – Dosis 75 ppm – Dosis 100 ppm – Dosis 125 ppm)

Percobaan Koagulasi – Flokulasi Kedua



(Kiri-Kanan: Sebelum Percobaan Jar Test – Percobaan Jar Test – Sampel Dosis 25 ppm)

Percobaan Koagulasi – Flokulasi Ketiga



Hasil Koagulasi – Flokulasi (Kiri-Kanan; Dosis 150 ppm – Dosis 200 ppm – Dosis 250 ppm – Dosis 300 ppm – Dosis 350 ppm)

